

Universität Bielefeld

Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaften
Abteilung für Psychologie

**Parallele Verarbeitung visueller, verbaler und
räumlicher Informationen bei Patienten mit
Schädel-Hirn-Trauma**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie
an der Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft
der Universität Bielefeld

Eingereicht von

Dott. Michela Fiaschi-Schneider

Betreuer und Erstgutachter: Prof. Dr. Wolfgang Hartje

Zweitgutachter: Prof. Dr. Michael Brambring

München, September 2007

Vorwort

Ich danke Herrn PD Dr. Wolfram Ziegler für die Überlassung des Themas, die ständige Unterstützung und die wertvolle Betreuung, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Uwe Schuri, der im Klinikum Bogenhausen alle Türen für mich geöffnet hat und als Ansprechpartner in allen Fragen immer zur Stelle war.

Ich danke allen Mitarbeitern der Tagklinik sowie der Station 35, Abteilung Neuropsychologie, die mit Ihrer Hilfsbereitschaft und der immer freundlichen Zusammenarbeit wesentlich zu dem Projekt beigetragen haben. Besonders den Therapeuten Roswitha Benz, Olaf Grömminger, Reinhard Göttert, Georg Maurer und Ursula Schneider, möchte ich für die Kooperation und tolle Terminierung bei den Patientenuntersuchungen danken.

Herrn Prof. Dr. Wolfgang Hartje möchte ich an dieser Stelle ganz herzlich für die fachliche Unterstützung und die konstruktive Kritik bedanken.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei allen Patienten bedanken, die bereit waren, zusätzliche Untersuchungen über sich ergehen zu lassen und ihre Zeit für diese Studie geopfert haben.

Meiner Familie möchte ich hier für die Liebe, Hilfe und Unterstützung auch in den schwierigen und oft langwierigen Phasen bei der Verfassung des Manuskriptes danken. Besonders danke ich meinem Mann Armin, der ständig mit Rat und Tat zur Seite gestanden und für alle Probleme eine Lösung hatte. Bei Sophia und Anna möchte ich mich für das Verständnis und die Geduld, die sie mir entgegengebracht haben, bedanken.

Die vorliegende Dissertation wurde im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs 688, „Neurotraumatologie und Neurologische Rehabilitation“, Sprecher: Prof. Dr. med. Alexander Baethmann, Ludwig-Maximilians-Universität, München, erstellt.

| | |
|--|-----------|
| 1. EINLEITUNG | 3 |
| 2. THEORETISCHER HINTERGRUND | 6 |
| 2.1. Exekutive Funktionen | 6 |
| 2.2. Arbeitsgedächtnis | 7 |
| 2.3. Exekutive Dysfunktionen | 10 |
| 2.3.2. Kognitive Beeinträchtigungen | 12 |
| 2.3.3. Verhaltensauffälligkeiten | 13 |
| 2.3.4. Neurobiologische Grundlagen exekutiver Dysfunktionen | 16 |
| 2.4. Schädel-Hirn-Trauma | 18 |
| 2.4.1. Schädel-Hirn-Trauma und Verhaltensauffälligkeiten | 18 |
| 2.4.2. Schädel-Hirn-Trauma und Dual-Task Aufgaben | 20 |
| 3 FRAGESTELLUNG UND HYPOTHESEN | 22 |
| 4. MATERIAL UND METHODEN | 25 |
| 4.1. Hauptexperiment | 25 |
| 4.2. Kontrollexperiment | 29 |
| 4.3. Neuropsychologische Testbatterie | 31 |
| 4.3.1. Verfahren zur Prüfung der Arbeitsgedächtnisleistung | 32 |
| 4.3.1.1. Verbales Arbeitsgedächtnis | 32 |
| 4.3.1.2. Visuo-spatiales Arbeitsgedächtnis | 33 |
| 4.3.2. Verfahren zur Prüfung der Aufmerksamkeit | 34 |
| 4.3.3. Verfahren zur Prüfung exekutiver Funktionen | 34 |
| 4.3.4. Verfahren zur Prüfung von Verhaltensauffälligkeiten | 36 |
| 4.4. Stichprobe | 37 |
| 4.4.1. Ein- und Ausschlusskriterien | 38 |
| 4.4.2. Untersuchungsablauf | 39 |
| 4.5. Statistische Auswertung | 39 |
| 5. ERGEBNISSE | 41 |
| 5.1. Vergleich der drei Single-Task Aufgaben | 41 |
| 5.2. Analyse der Dual-Task Effekte | 43 |
| 5.2.1. Phonologisch/räumliche Dual-Task Aufgabe | 43 |
| 5.2.2. Figural/räumliche Dual-Task Aufgabe | 46 |
| 5.2.3. Vergleich zwischen der phonologisch/räumlichen und der figural/räumlichen Dual-Task Bedingung | 49 |
| 5.3. Dual-Task-Aufgabe und Verhaltensauffälligkeiten | 53 |
| 5.3.1. BRBV: Verhaltensauffälligkeiten | 53 |

| | |
|---|----|
| 5.3.2. Verhaltensauffälligkeiten und Dual-Task Leistungen: Vergleich zwischen der phonologisch/räumlichen und der figural/räumlichen Dual-Task Bedingung..... | 54 |
| 5.4. Ergebnisse der neuropsychologischen Testbatterie | 60 |
| 5.5. Zusammenfassung der Ergebnisse | 61 |
| 6. DISKUSSION..... | 64 |
| 7. ZUSAMMENFASSUNG | 69 |
| 8. LITERATURVERZEICHNIS | 74 |
| ANHANG | 81 |

1. Einleitung

Nur allzu häufig kommt es bei Verkehrs- und Arbeitsunfällen zu Hirnverletzungen; das Hirntrauma ist bei 40jährigen die häufigste Form der Hirnschädigung. Da keine Übereinstimmung darüber besteht, was eine hirnschädigende Verletzung ausmacht, hat es sich als schwierig erwiesen, zuverlässige Schätzungen über die Häufigkeit von gedeckten Schädel-Hirn-Traumata zu erhalten. Mit Hilfe neu entwickelter neuroradiologischer Verfahren wie fMRI und PET konnte jedoch gezeigt werden, dass Hirnverletzungen infolge eines Schädel-Hirn-Traumas in den industrialisierten Ländern inzwischen eines der Hauptprobleme für das öffentliche Gesundheitswesen darstellen. Insgesamt schätzt man, dass die Häufigkeit von gedeckten Schädel-Hirn-Traumata in den Industrieländern pro Jahr bei 300 bis 450 Fällen auf 100 000 Einwohner liegt. Bezogen auf die Lebensspanne eines Menschen ist die Wahrscheinlichkeit, eine derartige Verletzung zu erleiden, tatsächlich recht hoch.

Die beiden wichtigsten Faktoren in der Inzidenz von gedeckten Schädel-Hirn-Traumata sind dabei Alter und Geschlecht. Bei Kindern und älteren Menschen ist die Wahrscheinlichkeit, sich bei einem Sturz zu verletzen, größer als bei den anderen Gruppen. Bei Männern im Alter zwischen 15 und 30 Jahren ist die Hirnverletzungswahrscheinlichkeit, im Hinblick auf Auto- und Motorradunfälle, besonders groß.

Ein Schädelhirntrauma kann die Hirnfunktionen auf verschiedene Weise beeinträchtigen. Einerseits kommt es zu fokalen Schädigungen mit Beeinträchtigungen derjenigen Funktionen, die in den verletzten Gebieten repräsentiert sind. Dabei stehen Störungen vor allem von Gedächtnis, Aufmerksamkeit und exekutiven Funktionen im Vordergrund. Zum anderen kommt es zu weiteren, oft gravierenden Ausfällen infolge diffus verteilter Schädigungen des Marklagers, z.B. zu einer Abnahme der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit, der Konzentrationsfähigkeit und Effizienz

aller kognitiven Verarbeitungsprozesse. Diese Schwierigkeiten spiegeln sich gewöhnlich darin, dass die Patienten über Konzentrationsschwäche klagen und die Aufgaben des täglichen Lebens nicht mehr so gut wie vor dem Unfall bewältigen können.

Gedechte Schädel-Hirn-Traumata, die den Frontallappen schädigen, beeinflussen häufig auch die Persönlichkeit und soziale Anpassung der Betroffenen. Häufig treten emotional-affektive Störungen, Verhaltensauffälligkeiten oder Persönlichkeitsänderungen auf. Nach Lezak (1995) nehmen nur relativ wenige Verkehrstopfer, die schwere Schädelhirnverletzungen erlitten haben, jemals wieder ihre Ausbildung auf oder kehren in ihre frühere berufliche Position zurück. Wenn sie doch wieder einer Arbeit nachgehen, so meist auf einem deutlich niedrigeren Niveau als vor dem Unfall. Es besteht deshalb weiter Forschungsbedarf hinsichtlich einer differenzierten neuropsychologischen Diagnostik für die Rehabilitationsplanung solcher Patienten.

Im Rahmen der Kognitionsforschung konzentrieren sich viele Studien der letzten 15 Jahre auf die Problematik der exekutiven Defizite von Patienten mit Schädel-Hirn-Traumata; es wird vielseitig diskutiert, ob Patienten mit einer traumatisch bedingten Hirnverletzung in der Lage sind, mehrere Aufgaben gleichzeitig durchzuführen. Die sogenannten Exekutivfunktionen werden für die Antizipation, das Planen, das Ausführen, das Kontrollieren und Anpassen von Handlungen sowie für die kognitive Flexibilität/Umstellungsfähigkeit benötigt. Sie spielen insbesondere bei der Planung von Handlungen, bei denen Ziele über mehrere Schritte hinweg zu verfolgen sind, eine Rolle (Benson, 1994). Weiterhin sind sie bei der Inhibition von bereits intendierten Prozessen entscheidend (Eslinger & Grattan, 1993).

Ein wichtiger Aspekt von Exekutivfunktionen ist, dass sie in hohem Maße vom Arbeitsgedächtnis abhängig sind, d.h. von der Fähigkeit zur temporären Aktivierung und Bearbeitung von Informationen. Das

Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (Working Memory Model) konzentriert sich auf den Aspekt der gleichzeitigen Nutzung und zeitlich begrenzten Speicherung von Informationen, wie sie zur Ausführung komplexerer kognitiver Aufgaben erforderlich sind. Baddeley und Hitch (1974) postulierten unterschiedliche kurzzeitige Speichersysteme (Phonological Loop; Visuospatial Sketchpad) die durch eine übergeordnete Instanz (Central Executive) koordiniert werden. Innerhalb des Modells stellt die Central Executive ein so genanntes „Aufmerksamkeits-Kontrollsystem“ dar, das für die Auswahl von Strategien, sowie für die Überwachung und Koordination der verschiedenen kognitiven Prozesse, die bei der kurzzeitigen Speicherung und bei den allgemeineren Verarbeitungsaufgaben beteiligt sind, zuständig ist.

Als eine gängige Methode zur Messung dieser Fähigkeit fungiert das „Dual-Task“ Paradigma (Baddeley, 1997; Alderman, 1996 Burgess et al., 1998), unter dessen Begriff das simultane Durchführen zweier verschiedener Aufgaben zu verstehen ist. Man vermutet, dass sich mittels solcher Aufgaben die Funktion des exekutiven Systems bei hirngeschädigten Patienten prüfen lässt und dass Dual-Task-Aufgaben auch einen sensiblen Indikator für Verhaltensauffälligkeiten bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma liefern.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf den Aspekt der Interaktion von Parallelverarbeitungsprozessen, d.h. auf die Fähigkeit, verschiedene Informationen gleichzeitig zu koordinieren. Dabei stellt sich die Frage, ob Patienten mit dysexekutiven Symptomen nach Schädel-Hirn-Trauma bei der Bearbeitung von Aufgaben mit Parallelanforderungen an das Arbeitsgedächtnis besondere Defizite zeigen. Eine weitere Frage ist, ob solche „Dual-Task“ Defizite einen Prädiktor für die bei diesen Patienten häufig auftretenden Verhaltensstörungen darstellen.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1. Exekutive Funktionen

Für den Begriff „Exekutive Funktionen“ gibt es keine wirklich überzeugende Definition, da er „äußerst verschiedenartige, ungemein komplexe kognitive Prozesse“ umfasst. Sturm, Herrmann und Wallesch (2000) definieren Exekutivfunktionen als „mentale Prozesse höherer Ordnung, die ein komplexes Nervennetzwerk benötigen, das sowohl kortikale als auch subkortikale Komponenten umfasst.“ Unter den „mentalischen Prozessen höherer Ordnung“ sind in der Literatur Begriffe wie Antizipation, Planung, Handlungsinitiierung, kognitive Flexibilität, Koordination, Sequenzierung, Inhibition, Zielüberwachung und allgemeines Problemlösen zu finden.

Diese Funktionen kommen ins Spiel, wenn das informationsverarbeitende System kurzfristig von einer kognitiven Anforderung auf eine andere umgestellt werden muss; wenn Prozesse der Wahrnehmung oder der Handlungskontrolle vorzubereiten sind; wenn habituelle Verhaltensantworten auf Stimuli unterdrückt werden müssen; oder wenn bereits eingeleitete Verhaltensantworten modifiziert bzw. abgebrochen werden sollen. Exekutive Funktionen werden aber auch dann relevant, wenn kognitive Operationen selektiert oder koordiniert werden müssen, wie bei der Bewältigung zeitlich überlappender kognitiver Anforderungen.

Lezak (1995) schreibt: „Unter Exekutivfunktionen werden Funktionen subsumiert, welche einer Person erlauben, selbständig, absichtlich und zielstrebig selbstdienliche Aktivitäten und Handlungen auszuführen“. Sie umfassen also diejenigen Verhaltenskomponenten, welche den Ausdruck, die Organisation, die Aufrechterhaltung, die Kontrolle und Modulation von Verhalten ermöglichen. Die Steuerung von Verhalten über die Zeit wird ebenfalls als Teil der Exekutivfunktionen angesehen (Grafman & Litvan, 1992).

2.2. Arbeitsgedächtnis

Einer der wichtigsten Aspekte exekutiver Funktionen ist, dass sie im hohen Maße vom Arbeitsgedächtnis abhängig sind. Das Arbeitsgedächtnis, wie es heute in der kognitiven Psychologie verstanden wird, entspricht einem System zur temporären Speicherung und zur Bearbeitung von Informationen im Dienste von komplexen kognitiven Prozessen wie Sprachverständnis, Lernen und Problemlösen (Baddeley, 1986). Im Arbeitsgedächtnis können Informationen kurzfristig gehalten und bearbeitet werden, aber seine Kapazität ist beschränkt und neue Informationen verdrängen die alten.

Das „Working Memory“ Modell von Baddeley und Hitch (Abbildung 1) postuliert zwei kurzzeitige Speichersysteme („Phonological Loop“ und „Visuospatial Sketchpad“), die sogenannten „Slave-Systems“, die durch eine übergeordnete Instanz, die „Central Exekutive“, kontrolliert bzw. koordiniert werden (Baddeley & Hitch, 1974).

Das erste Speichersystem, die sogenannte *Phonological Loop* oder phonologische Schleife, speichert temporär auditorische, vor allem verbale Informationen, die nach einer kurzen Zeit (zwei Sekunden) zerfallen würden, wenn sie nicht aktiv durch ein artikulatorisches „Rehearsal“ (subvokal) aufrechterhalten würden.

Die phonologische Schleife ist vor allem für die Erhaltung von sequentieller Information bzw. für die unmittelbare, serielle Reproduktion verantwortlich. Sie wird in zwei Subkomponenten unterteilt:

- einen passiven phonologischen Speicher und
- einen artikulatorischen Kontrollprozess.

Der passive phonologische Speicher ist eine Art Zwischenlager für phonologisch kodierte Information und eng verbunden mit Prozessen der primären Sprachwahrnehmung. Der Kurzzeitspeicher für verbales Material ist begrenzt, und die Gedächtnisspuren verblassen nach wenigen

Sekunden, wenn nicht die artikulatorische Schleife die Auffrischung der phonologischen Information bewirken würde.

Der artikulatorische Kontrollprozess hat eine enge Verbindung zu den Prozessen der Sprachproduktion und primär die Aufgabe, phonologische Information (Gedächtnisspuren) „aufzufrischen“. Diese Gedächtnisspuren werden aus dem phonologischen Speicher ausgelesen und wieder erneut hineingeschrieben. Dies geschieht mittels subvokaler Wiederholungen. Außerdem kann geschriebenes Material in phonologische Codes umgewandelt und danach in den phonologischen Speicher geschrieben werden.

Das zweite Speichersystem, das *Visuospatial-Sketchpad* (visuell-räumlicher Notizblock), dient der temporären Erhaltung und Bearbeitung von visuell-räumlichen Informationen. Es spielt ebenfalls bei der räumlichen Orientierung und beim visuell-räumlichen Problemlösen eine Rolle. Der visuell-räumliche Speicher verarbeitet visuelle Wahrnehmungen und Vorstellungen und bildet eine Schnittstelle zwischen visueller und räumlicher Information, welche einerseits über die Sinne und andererseits über das Langzeitgedächtnis abgerufen wird (Logie, 1995).

Nach Baddeley (1986) kann der visuell-räumliche Speicher analog zur phonologischen Schleife ebenfalls in zwei Subkomponenten unterteilt werden:

- in einen passiven perzeptuellen Input-Speicher und
- in einen aktiven Rehearsal-Mechanismus

Problematisch ist hier die noch bestehende geringe empirische Evidenz. Logie (1995) unterteilt den visuell-räumlichen Speicher in folgende Subkomponenten:

- eine Komponente für Objektmerkmale (das „What“) und
- eine Komponente für räumliche Information (das „Where“)

Diese Unterteilung wurde aufgrund bildgebender Verfahren (Smith und Jonides, 1999) bestätigt und deckt sich auch mit den Prozessen der

Objekterkennung („was“ und „wo“), die Ungerleider und Mishkin (1982) untersuchten.

In Baddeley's Arbeitsgedächtnismodell sollen die beiden oben genannten Subsysteme („phonologische Schleife“ und „visuell-räumlicher Speicher“) von einer Instanz, der zentralen Exekutive, überwacht, koordiniert und kontrolliert werden. Die Zentrale Exekutive besitzt dennoch eine limitierte Speicherkapazität und delegiert dadurch automatisierte Speicheraufgaben an die beiden Sklavensysteme und schafft durch die Entlastung Kapazität für ihre übergeordneten Aufgaben. Solche Aufgaben können z.B. die Vergabe von Verarbeitungsprioritäten, Unterbrechung von Routineprozessen, generelle Überwachung von nicht-routinierten Prozessen oder Vergleiche von Handlungsergebnissen mit Handlungszielen sein.

Baddeley schlägt vor, die zentrale Exekutive in mehrere Funktionen zu fraktionieren:

1. Updating Function

Diese Funktion sorgt für die ständige Aktualisierung des Inhaltes des Working Memory mit neuen Informationen. Somit greift die „Updating Function“ sehr häufig in die alltäglichen Aktivitäten ein, wie in der Organisation von gerade gelernten Informationen.

2. Inhibition

Generell wird die hemmende Kontrolle als eine der wichtigsten Funktionen der zentralen Exekutive betrachtet und besteht in der Fokussierung der Aufmerksamkeit auf handlungsrelevante Informationen und in der Hemmung irrelevanter Informationen oder Prozesse.

3. Shifting Process

Effiziente Reaktionen in der Umwelt benötigen ein schnelles und häufiges Wechseln zwischen den verschiedenen kognitiven Prozessen; diese Aufgabe wird als „Shifting Process“ bezeichnet.

4. Dual-task Coordination

Die „Dual-Task Coordination“ ist eine der komplexesten Funktionen der

zentralen Exekutive. Sie beschreibt die Fähigkeit, mehrere sensorische und kognitive Informationen gleichzeitig zu verarbeiten.

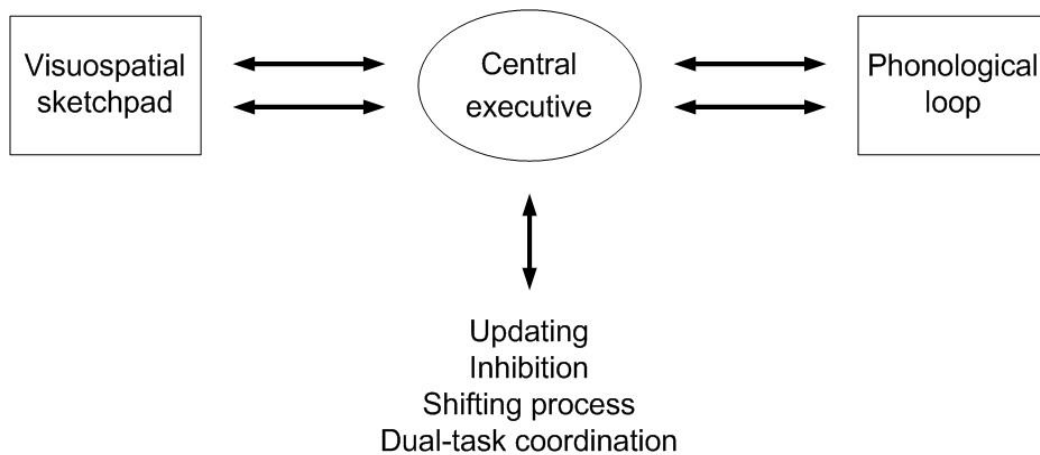


Abbildung 1: Working Memory Modell nach Baddeley (1996)

2.3 Exekutive Dysfunktionen

In Anlehnung an die Operationalisierung der Exekutivfunktionen hat Baddeley (Baddeley, 1986; Baddeley & Wilson, 1988) den Begriff „dysexekutives Syndrom“ als Folge erworbener Hirnschädigungen erstmalig eingeführt. Diesem Syndrom ordnete er Störungen in den exekutiven Bereichen des Planens, Problemlösens, der Handlungsinitiierung, der (semantischen) Wortflüssigkeit, des Schätzens sowie der Neigung zu Perseverationen und Enthemmungsphänomenen zu.

Die Bezeichnung „dysexekutives Syndrom“ ist nur „grosso modo“ zutreffend, da es sich eben typischerweise nicht um eine invariable Symptomkonstellation handelt, wie es für ein Syndrom üblich ist. Das dysexekutive Syndrom ist durch eine hohe interindividuelle Variabilität der objektivierten und dominanten Symptome charakterisiert (Matthes-von

Cramon & von Cramon, 2000). Patienten mit exekutiven Dysfunktionen zeigen variable Beeinträchtigungen bezüglich der Affekt- und Impulskontrolle, der Motivation und Eigeninitiative. Aufgrund dieser Tatsache ist es nicht verwunderlich, wenn die klinische und neuropsychologische Literatur (Lezak, 1995; Rabbit, 1997) wiederholt anführt, dass es sehr schwierig ist, exekutive Dysfunktionen adäquat psychometrisch zu erfassen, und Versuche bestehen, diese in Subfunktionen zu unterteilen.

2.3.1. Diagnostik

Die klinische Diagnostik der exekutiven Dysfunktionen setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Zuerst wird aktuell aus der Fremdanamnese, der Verhaltensbeobachtung und der psychopathologischen Exploration eine Diagnostik vorgenommen. Als Kriterien für die Diagnostik werden die bekannten Merkmale exekutiver Funktionen herangezogen. Psychometrische Verfahren zur Erfassung eines dysexekutiven Syndroms beinhalten exekutive Anforderungen wie zum Beispiel Planung, Organisation und Handlungsmonitoring.

Zusätzlich kommen auch standardisierte Testbatterien, wie zum Beispiel das „Behavioral Assessment of Dysexecutive Syndrome“ (BADS) von Wilson et al. (1996), der Frontallappen-Score von Ettlin (Ettlin et al., 2000; Wildgruber, 1997; Wildgruber et al., 2000) oder die FAB-Batterie (Dubois et al., 2000) zum Einsatz. Auf exekutive Leistungen abzielende Verfahren wie der Stroop-Test (Stroop, 1935; Klein, 1964), der Modified Card Sorting Test (Nelson, 1976) und Verhaltensinventare wie das „Questionnaire of the Dysexecutive Syndrom“ (DEX) von Burgess et al. (2000) können bei der Diagnostik einen entscheidenden Faktor spielen.

Die Diagnostik bleibt trotz der Fortschritte in der Entwicklung von Testbatterien eine Herausforderung. Die klinische Erfahrung, die eine

subjektive Einschätzung des Patienten erlaubt, wird auch weiterhin eine wichtige Rolle bei der Diagnostik spielen.

2.3.2. Kognitive Beeinträchtigungen

Zur Abfrage von Symptomen einer Störung exekutiver Funktionen wurde von Wilson und Mitarbeitern (1996) eine Check-Liste entwickelt. Diese Check-Liste beinhaltet jedoch keine Gewichtung und keine Mindestanzahl von Symptomen:

- Probleme im abstrakten Denken
- Planungsstörung
- Störung der Impulskontrolle
- Zwiespalt zwischen Wissen und Tun
- Enthemmtes Verhalten
- Impulsivität
- Gestörte Hemmung von Reaktionen
- Aggressivität
- Rastlosigkeit, motorische Unruhe
- Fehlende Krankheitseinsicht (Anosognosie)
- Missachtung sozialer Regeln
- Unbekümmertheit
- Konfabulation
- Ablenkbarkeit
- gestörte Entscheidungsfähigkeit
- Euphorie
- Apathie und
- abgeflachte Affekte

2.3.3. Verhaltensauffälligkeiten

Wichtige Aspekte exekutiver Dysfunktionen sind die Verhaltensauffälligkeiten dieser Patienten. Baddeley und Mitarbeiter (1997) schlugen folgende Kriterien zur Diagnose von dysexekutiven Symptomen vor:

- Spontan von den Angehörigen berichtete Verhaltensänderung
- Unfähigkeit des Patienten, selbständig eine längere Alltagsverrichtung durchzuführen (z.B. eine ganze Mahlzeit zu essen oder ein Bad zu nehmen)
- Überwachungsbedürftigkeit aufgrund von Selbst- oder Fremdgefährdung
- Erhebliche Schwierigkeiten in der Interaktion (bedingt durch Antriebsstörung, unangemessene überschießende Affekte/Euphorie, sozial inakzeptables Verhalten)
- Perseveration in der Spontansprache, Konfabulationen, Ablenkbarkeit, eingeschränkte Aufmerksamkeit und emotionale Veränderung.

Über 50 Verhaltensweisen hat Benson (1994) aufgelistet, die im Rahmen von exekutiven Dysfunktionen vorkommen sollen. Hierbei stellt sich dem Diagnostiker allerdings die Frage, ob die Verhaltensauffälligkeiten nicht bereits prämorbid bestanden haben oder ob sich prämorbid Verhaltensmuster als Folge der Hirnschädigung lediglich akzentuiert haben. Auch Prozesse der Krankheitsverarbeitung oder die veränderte Rolle des Patienten innerhalb der Familie oder andere aktuelle Lebensumstände, wie der Verlust des Arbeitsplatzes, können zu Verhaltensänderungen beigetragen haben.

Die Beobachtung des Alltagsverhaltens ist bei den exekutiven Dysfunktionen neben Testergebnissen eine wichtige Informationsquelle bei der Diagnostik solcher Störungen. Immer wieder werden bei hirnverletzten Patienten mit dysexekutiven Symptomen neben den kognitiven Beeinträchtigungen (Baddeley et al., 1997; Tranel et al., 1994; Förstl, 2002;

Benton, 1991) auch Verhaltensauffälligkeiten (von Cramon et al., 1993; Damasio, 1995) wie z.B. unökonomisches Vorgehen bei Lösungsversuchen (Damasio, 1997, Shallice et al., 1989, Lhermitte, 1986) und sozial inadäquate Reaktionen (Prigatano et al., 1994) beobachtet. Diese Störungen können als indirekte Folge der Hirnschädigung entstehen oder durch eine inadäquate Krankheitsverarbeitung verursacht werden. Oftmals liegen Kombinationen beider Einflussfaktoren vor (Arnold & Pössel, 1993). Trotz der kognitiven Beeinträchtigungen zeigen diese Patienten ein für ihre Diagnose untypisches Leistungsprofil, welches von starker Beeinträchtigung bis hin zu überdurchschnittlichen Leistungen reichen kann (Brazzelli et al., 1994). Es zeigte sich, dass Patienten mit unauffälligem Testprofil im Bereich exekutiver Leistungen Auffälligkeiten im Verhalten aufwiesen (Damasio, 1997).

In einer Studie von Baddeley und Mitarbeitern (1997) zeigte sich, dass frontallhirngeschädigte Patienten mit Verhaltensproblemen im Sinne einer exekutiven Dysfunktion sich in einer Dual-Task Anforderung von Patienten mit der gleichen Läsion ohne dysexekutives Syndrom unterscheiden. Zusätzlich wurde in dieser Studie festgestellt, dass sich die Stichprobe mit dysexekutivem Syndrom bezüglich der Ergebnisse zweier Tests, die exekutive Leistungen erfassen (MCST und verbale Flüssigkeit), nicht von der Gruppe ohne Verhaltensbeeinträchtigungen unterschied. Baddeley und Mitarbeiter sehen durch diese Untersuchung bestätigt, dass soziales Verhalten Dual-Task Komponenten beinhaltet.

Das Dual-Task Paradigma ist eine entscheidende Methode, um exekutive Dysfunktionen zu untersuchen. Aufgrund der wichtigen Rolle der zentralen Exekutive in der Koordination gleichzeitig ablaufender verschiedener kognitiver Prozesse wird diese Funktion üblicherweise mit Hilfe des Dual-Task Paradigmas erforscht, in dem der Proband zwei Aufgaben, oft mit verschiedenen Anforderungen, gleichzeitig durchführen muss. Diese Verfahren haben gezeigt, dass die simultane Bearbeitung zweier Aufgaben zu einer Zunahme der Reaktionszeiten und der Fehler führt.

Leistungsverluste, die bei Dual-Task Aufgaben (im Vergleich zur Durchführung der einzelnen Aufgaben) auftreten, werden zumeist als Folge einer begrenzten Verarbeitungskapazität erklärt. Das Modell von Wickens (1984a; 1984b) unterscheidet zwischen solchen Ressourcen, die den Prozessen der Wahrnehmung und der zentralen Verarbeitung zugrunde liegen, und solchen Ressourcen, auf die bei antwortselektierenden und antwortausführenden Prozessen zurückgegriffen wird. Hinsichtlich der Modalität, in der die Prozesse ablaufen, ist einerseits zwischen der sensorischen Inputmodalität (z.B. auditive versus visuelle Reize) und der motorischen Output- oder Antwortmodalität (z.B. manuelle versus sprachliche Reaktion) zu unterscheiden. Für die Prozesse der zentralen Verarbeitung wird in analoger Weise davon ausgegangen, dass non-verbale figurale oder räumliche und verbale Aufgaben unterschiedliche Ressourcen beanspruchen. Auf dieser Grundlage postuliert das Modell, dass das Ausmaß der Interferenz zwischen zwei Aufgaben umso stärker ist, je mehr gleichartige Ressourcen sie beanspruchen (Wickens, 1984a).

Die Bedeutung begrenzter Verarbeitungsressourcen für die Bewältigung von Dual-Task Aufgaben hängt auch mit der Frage zusammen, in welchem Maße automatisierte Prozesse, die wenig oder so gut wie keine Ressourcen beanspruchen, an der Aufgabenbearbeitung beteiligt sind. Bei sehr geringen Aufgabenanforderungen mit hohem Automatisierungsgrad in der Bearbeitung der Einzelaufgaben erscheint eine parallele, simultane Aufgabenbewältigung möglich, bei etwas höherem Schwierigkeitsgrad der Aufgaben oder bei einer Überlappung der perzeptiven, kognitiven oder motorischen Anforderungen kommt es jedoch zu Leistungsverlusten aufgrund von Kapazitätsbegrenzungen (Pashler, 1998; Pashler & Johnston, 1998).

Aus neuropsychologischer Sicht entspricht das Ausmaß der Interferenz zwischen der Bearbeitung der konkurrierenden Aufgaben dem Grad, in dem separate, überlappende oder identische kortikale Hirnregionen oder

neuronale Netzwerke aktiviert werden (Bowers, Price, LaBarba, Cannon-Bowers, Borjesson & Vogel, 2000; Friedman & Polson, 1981; Pashler & O'Brien, 1993).

Bei Patienten mit frontalen Läsionen (Collette, 2005) sind die schlechten Leistungen in Dual-Task Aufgaben das Hauptmerkmal der exekutiven Störung. Der Leistungsabfall von Single-Task zu Dual-Task Aufgaben für verbales und non-verbales Material gilt als sensitiv für eine Störung der zentralen exekutiven Komponente des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley et al., 1997). In der Studie von Baddeley und Mitarbeitern unterschieden sich die Patienten mit dysexekutiven Symptomen in den Dual-Task-Aufgaben signifikant von den Patienten ohne dysexekutive Symptome.

2.3.4. Neurobiologische Grundlagen exekutiver Dysfunktionen

Eine wichtige Anwendung des Dual-Task Paradigmas findet man auch bei der Untersuchung anatomischer Areale der exekutiven Funktionen. In den letzten 15 Jahren, mit der Entwicklung neuer bildgebender Verfahren wie PET und fMRI, hat sich ein neues Forschungsgebiet zur Untersuchung zerebraler Areale des „Working-Memory“ aufgetan. Die Rolle des präfrontalen Kortex bleibt dadurch unbestreitbar, es werden allerdings immer mehrere, auch posteriore Hirnregionen in die Dual-Task Aufgaben involviert (Collette et al., 2001). Es wird klar, dass die verschiedenen Exekutivfunktionen nicht nur die Aktivierung von frontalen, sondern auch von posterioren Arealen benötigen, und vor allem eine Integration zwischen verschiedenen Arealen und Systemen erfordern.

Obwohl man nicht exekutive Funktionen mit präfrontalen Funktionen gleichsetzen darf, ist unbestreitbar, dass der präfrontale Kortex eine der Hirnregionen ist, deren Schädigung mit hoher Wahrscheinlichkeit exekutive Dysfunktionen zur Folge haben wird (Sturm, Herrmann & Wallesch, 2000). Patienten mit Läsionen dieser Hirnareale weisen bestimmte Störungen des

Verhaltens auf, z.B. Impulsivität, Ablenkbarkeit oder sozial unangemessenes Verhalten, sie zeigen intellektuell jedoch oft keine Beeinträchtigung.

Der erste aufgezeichnete Bericht über einen Patient mit ausgeprägter Verhaltensänderung aufgrund einer Frontalhirnschädigung erzählt die Geschichte von Phineas Gage. Der 25jährige Arbeiter erlitt 1848 beim Eisenbahnbau einen tragischen Unfall: Eine Eisenstange durchbohrte den vorderen Teil seines Schädels (Abbildung 2). Der Patient überlebte. Bei der neurologischen Untersuchung wurden erstaunlicherweise keine Beeinträchtigungen der allgemeinen Intelligenz, der Sprache oder des Gedächtnisses festgestellt. Allerdings entwickelte der Patient ausgeprägte Veränderungen in seinen Persönlichkeitszügen. Er fiel durch Respektlosigkeit und launisches Verhalten auf. Er wurde rasch ungeduldig, fluchte unvermittelt und zeigte sich gegenüber Zukunftsplänen sehr wankelmütig. Dieser Fall gilt als Beispiel dafür, dass das Sozialverhalten von der Intaktheit der medialen präfrontalen Strukturen abhängig ist. Das Beispiel Phineas Gage zeigt, dass „Teile des präfrontalen Kortex für spezifische Eigenschaften zuständig sind, unter anderem für die Fähigkeit, die Zukunft vorwegzunehmen und sie in einem komplexen sozialen Umfeld angemessen zu planen“ (Damasio, 1994).

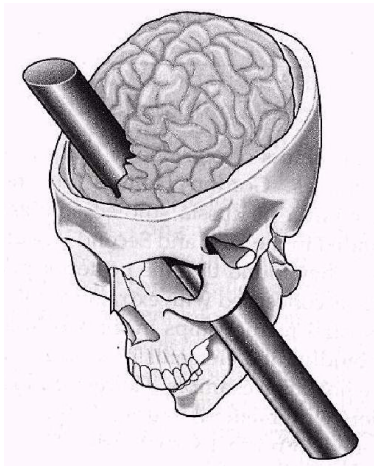


Abbildung 2: Rekonstruktion der Frontalhirnläsion von Phineas Gage. Die Rekonstruktion basiert auf den Perforationen im Schädelknochen. Der Schädel wird im Warren Medical Museum, Harvard Medical School, Boston, USA, aufbewahrt (Damasio et al., 1994).

2.4. Schädel-Hirn-Trauma

Zahl und Schwere der Verletzungen durch Unfälle haben in den letzten Jahrzehnten nicht abgenommen, und ist festgestellt worden, dass jährlich weit mehr als 20 000 meist junge Menschen Opfer von Verkehrsunfällen werden. Die häufigsten Folgen dieser Unfälle sind Schädel-Hirn-Traumata und andere schwere Schädelverletzungen. Als Schädel-Hirn-Trauma (SHT) bezeichnet man jede Verletzung des Schädels mit Hirnbeteiligung, aber keine reinen Schädelfrakturen oder Kopfplatzwunden. Klassisch teilt man das Schädel-Hirn-Trauma in 3 Grade ein: die *Commotio cerebri*, die *Contusio cerebri* und die *Compressio cerebri*. Bei sehr schwerer Gewalteinwirkung treten Schädigungen von Mittelhirn- und Hirnstammstrukturen hinzu, die wesentliche Korrelate für die psychomotorische Verlangsamung, Tetraspastik, Ataxie und Hypokinese bei Patienten mit schweren posttraumatischen Folgezuständen darstellen. Auch neuropsychologische Defizite, wie Störungen der Gedächtnis-, Aufmerksamkeits- und exekutiven Funktionen sind wichtige Aspekte des Schädel-Hirn-Traumas.

Die höchste Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von exekutiven Defiziten dürften diffuse zerebrale Gewebsschäden unter maßgeblicher Beteiligung der Stirnlappen haben. Zusätzlich werden bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma Verhaltensauffälligkeiten festgestellt.

2.4.1 Schädel-Hirn-Trauma und Verhaltensauffälligkeiten

Die Verhaltensauffälligkeiten von Patienten mit einer Hirnverletzung können für die Rehabilitation ein großes Problem darstellen, und diese Störungen interferieren oft mit den Reintegrationsprozessen. Diese Patienten können bei den Rehabilitationsprogrammen aggressiv, impulsiv oder enthemmt (desinhibiert) sein.

In einer Studie von Alderman (1996) konzentriert sich der Autor bei Patienten, die ein Schädel-Hirn-Trauma erlitten hatten, auf den Zusammenhang zwischen den schwachen Leistungen der Patienten in Dual-Task Aufgaben und Verhaltensauffälligkeiten der Patienten. Alderman untersuchte Patienten, die nach schwerem Schädel-Hirn-Trauma (SHT) starke Verhaltensstörungen zeigen, um die zukünftige Teilnahme dieser Patienten an den Rehabilitationsprogrammen zu beobachten. Diese Patienten hatten die Möglichkeit, in der Rehabilitation verschiedene Methoden, wie das Token Economy Programm, zu benutzen, um die Verhaltenstörungen zu kontrollieren. Alderman unterschied hier zwischen den Patienten, die von diesen Methoden profitieren konnten (Responders, n = 10) und denjenigen Patienten, die nicht profitieren konnten (Non Responders, n = 10). Beide Gruppen wurden mit Hilfe standardisierter Tests untersucht: Intelligenztest (WAIS-R), Gedächtnistests (Rivermead Behavioural Memory Test; Digit Span vorwärts und rückwärts) und Test für die exekutiven Funktionen (Wisconsin Card Sorting Test; Test of Verbal Fluency; Trail Making Test). Außerdem mussten die Patienten eine Dual-Task Aufgabe bewältigen: eine „Tracking“ Aufgabe in Verbindung mit anderen Tests oder Aufgaben (Digit Span; Verbales Feedback; Zeiteinschätzung und Unterhaltung/Communication). Gemessen wurden die Leistungen der Patienten in der einfachen Aufgabensituation (Single-Task Bedingung) des „Tracking“ und unter Dual-Task Bedingung (Abbildung 3).

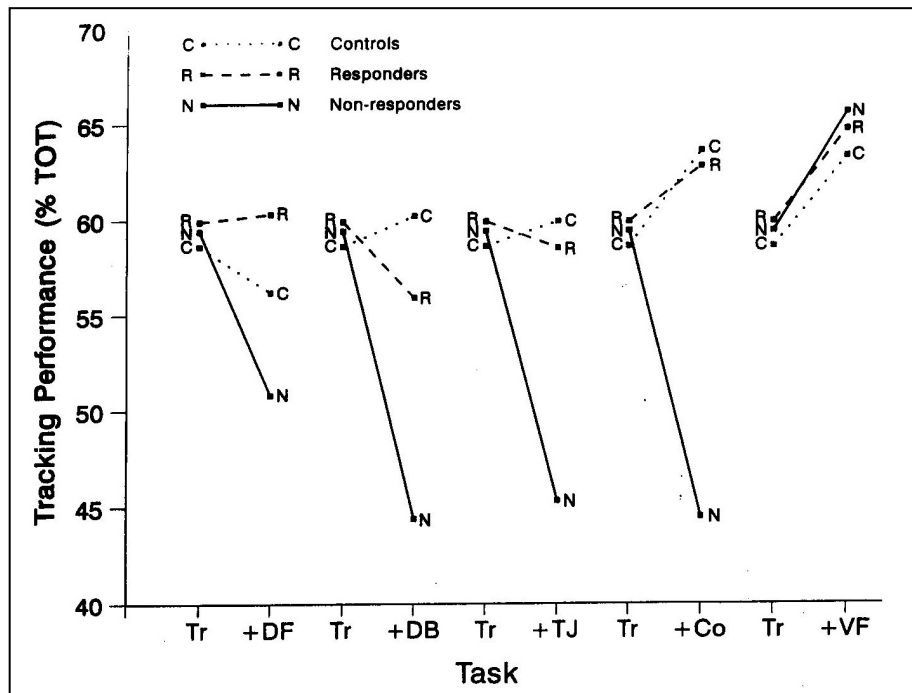


Abbildung 3: Prozentanteil der „Time on Target (TOT) bei der „Tracking“ Single-Task Aufgabe und bei den „Tracking“ Dual-Task Aufgaben. Tr: Tracking single; +DF: Tracking und Digit Span Forward; +DB: Tracking und Digit Span Backward; +TJ: Tracking und Aufgaben über Zeiteinschätzung; +CO: Tracking und Unterhaltung; +VF: Tracking und verbales Feedback über die Leistung; C: Kontrollgruppe; R: Responders; N: Non Responders (aus Alderman, 1996).

Während für die Single-Task Aufgabe keine deutliche Unterscheidung zwischen den beiden Gruppen nachgewiesen werden konnte, zeigten die Patienten der Gruppe „Non Responders“ besondere Probleme bei der Bearbeitung von Dual-Task Aufgaben und hatten somit eine schlechte Prognose für die Rehabilitation. Die Unfähigkeit dieser Patienten, zwei Aufgaben gleichzeitig durchzuführen, spricht für die Präsenz eines Defizits der zentralen Exekutive.

2.4.2. Schädel-Hirn-Trauma und Dual-Task Aufgaben

In einer Studie von McDowell, Whyte und D'Esposito (1997) wurden zwei wichtige Hypothesen geprüft: 1) Zeigen Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma (SHT) Defizite in der Dual-Task Leistung; 2) besteht ein Zusammenhang

zwischen der Leistung in den Dual-Task Aufgaben und in einem Test für die Exekutive Funktionen. Alle Patienten hatten frontale Läsionen und wurden mit standardisierten Tests für die Prüfung exekutiver Funktionen (Stroop, Trail-Making, WCST, Verbal Fluency) untersucht. Die erste Hypothese wurde bestätigt, insofern die Patienten deutlich schlechtere Leistungen in den Dual-Task Aufgaben zeigten. Ein Zusammenhang zwischen den Leistungen in den Dual-Task Aufgaben und in den standardisierten Tests konnte nicht gefunden werden, aber in zwei dieser Tests (Stroop Interference und Trail-Making B) konnte man zumindest eine ähnliche Leistung wie bei den Dual-Task Aufgaben beobachten. Die Beeinträchtigungen der hirnerkrankten Patienten bei den Dual-Task Aufgaben spiegeln sich in den spezifischen kognitiven Defiziten im Rahmen des Arbeitsgedächtnisses. Insgesamt kann man daraus schließen, dass Dual-Task Aufgaben als sensitive Indikatoren für die kognitiven Defizite der SHT-Patienten verwendet werden können.

3 Fragestellung und Hypothesen

Einer der wichtigen Aspekte der Beobachtung von hirnverletzten Patienten mit dysexekutiven Symptomen ist die Feststellung, dass neben den kognitiven Beeinträchtigungen auch Verhaltensauffälligkeiten, wie z.B. unökonomisches Vorgehen bei Lösungsversuchen (Damasio, 1994, Shallice et al., 1989) und sozial inadäquate Reaktionen zu finden sind. Diese Störungen können als direkte Folge der Hirnschädigung entstehen oder durch eine inadäquate Krankheitsverarbeitung verursacht werden. Häufig liegen Kombinationen dieser beiden Faktoren vor (Arnold & Pössel, 1993).

Trotz der kognitiven Beeinträchtigungen zeigen diese Patienten ein für ihre Diagnose untypisches Leistungsprofil, welches von starker Beeinträchtigung bis hin zu überdurchschnittlichen Leistungen reichen kann (Eslinger & Damasio, 1985; Brazzelli et al., 1994). Es zeigte sich, dass Patienten mit unauffälligem Testprofil im Bereich exekutiver Leistungen Auffälligkeiten im Verhalten aufwiesen (Damasio, 1997). In einer Studie von Baddeley und Mitarbeitern (1997) ergab sich, dass frontallhirngeschädigte Patienten mit Verhaltensproblemen und exekutiven Dysfunktionen sich in einer Dual-Task Anforderung von Patienten mit der gleichen Läsion ohne dysexekutive Symptome unterschieden. Zusätzlich wurde in dieser Studie festgestellt, dass sich die Stichprobe mit dysexekutivem Syndrom bezüglich der Ergebnisse zweier Tests, die exekutive Leistungen erfassen (MCST und verbale Flüssigkeit), nicht von der Gruppe ohne Verhaltensbeeinträchtigungen unterschied. Baddeley und Mitarbeiter sehen durch diese Untersuchung bestätigt, dass soziales Verhalten Dual-Task Komponenten beinhaltet.

Die vorliegende Studie konzentriert sich auf den Aspekt der Interaktion von Parallelverarbeitungsprozessen, d.h. auf die Fähigkeit, verschiedene Informationen gleichzeitig zu beachten, im Arbeitsgedächtnis zu speichern

und zu verarbeiten. Dabei stellt sich die Frage, in welchem Maße und unter welchen Bedingungen Patienten mit einer traumatisch bedingten Hirnverletzung in der Lage sind, mehrere Aufgaben gleichzeitig durchzuführen.

Dabei verfolgen wir insbesondere die Frage, ob unterschiedliche Arten von Information bei der Parallelverarbeitung mehr oder weniger starke Interferenzeffekte zeigen. Im Speziellen werden Patienten mit dysexekutiven Symptomen nach Schädel-Hirn-Trauma untersucht, um zu klären, ob diese Patientengruppe besondere Probleme bei der Bearbeitung von Aufgaben mit Parallelanforderungen an das verbale und räumliche Arbeitsgedächtnis zeigen. Wenn dies zutrifft, könnte es als sensibler Indikator in der Diagnostik solcher Störungen gelten.

Außerdem wird die Frage gestellt, ob Dual-Task Defizite einen Prädiktor für die bei diesen Patienten häufig auftretenden Verhaltensstörungen darstellen.

Als Untersuchungsverfahren wurde ein neues experimentelles Dual-Task Paradigma entwickelt, in dem verschiedene phonologische, figurale und räumliche Informationen gleichzeitig enkodiert und im Arbeitsgedächtnis gehalten werden müssen. Durch die paarweise Kombination von solchen kognitiven Prozessen, die entweder vorwiegend Verarbeitungs-Ressourcen der linken, sprachdominanten Hemisphäre (phonologische Prozesse) oder aber der rechten Hemisphäre (figurale und räumliche Prozesse) beanspruchen, soll das Paradigma die Prüfung spezifischer Hypothesen zur inter- und intrahemisphärischen Kooperation bzw. Interferenz ermöglichen.

Darüber hinaus wird eine neuropsychologische Testbatterie verwendet, in der standardisierte Testverfahren zur Messung von Exekutivleistungen (WCST, RWF, IST-Gemeinsamkeiten, ToL.), Arbeitsgedächtnisleistungen (Pattern-Span, Digit-Span, Corsi-Block, TAP-Subtest Arbeitsgedächtnis), Aufmerksamkeitsleistungen (TAP-Subtest Geteilte Aufmerksamkeit und

Visuelles Scanning) und Verhaltensauffälligkeiten (BRBV) zusammengestellt wurden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll gezeigt werden dass:

1. Patienten mit einer traumatisch bedingten Hirnverletzung besonders schlechte Leistungen unter Dual-Task im Vergleich zu Single-Task Anforderungen zeigen.
2. Unterschiedliche Arten von Informationen (phonologisch, figural, räumlich) bei der Parallelverarbeitung unterschiedlich starke Interferenzeffekte zeigen. Bei denjenigen Dual-Task Aufgaben, deren Teilaufgaben Verarbeitungsprozesse und Ressourcen ein und derselben Hemisphäre beanspruchen, wird eine stärkere Interferenz erwartet als bei denjenigen, deren Teilaufgaben sich auf Prozesse und Ressourcen unterschiedlicher Hemisphären beziehen.
3. Die Probleme bei der Bewältigung von Dual-Task Aufgaben im Zusammenhang mit der Stärke von Verhaltensauffälligkeiten stehen.

4. Material und Methoden

Im Rahmen dieser Studie wurde mit Hilfe des Programms UDAP (Universal Data Acquisition Program, Version 3.00; Andreas Zierdt, Entwicklungsgruppe Klinische Neuropsychologie, Städt. Krankenhaus München-Bogenhausen) ein neues experimentelles Paradigma entwickelt und programmiert, bei dem die Parallelverarbeitungsforderung darin besteht, dass verschiedene Informationen gleichzeitig enkodiert und im Arbeitsgedächtnis gehalten werden müssen. Das Experiment umfasst zwei Dual-Task-Aufgaben, zum gleichzeitigen Encodieren räumlicher und phonologischer sowie räumlicher und figuraler Informationen. Darüber hinaus wurden die zugehörigen Einzelverarbeitungsleistungen in drei entsprechend parallelisierten Single-Task Aufgaben geprüft. Konventionelle Dual-Task Ansätze wurden aus Gründen der nicht eindeutig interpretierbaren Ergebnisse verworfen.

4.1. Hauptexperiment

Das Hauptexperiment umfasst zwei Dual-Task Aufgaben: eine zum gleichzeitigen Encodieren *räumlicher* und *phonologischer* Information (Abbildung 4) und eine zweite zum gleichzeitigen Encodieren *räumlicher* und *figuraler* Information (Abbildung 5).

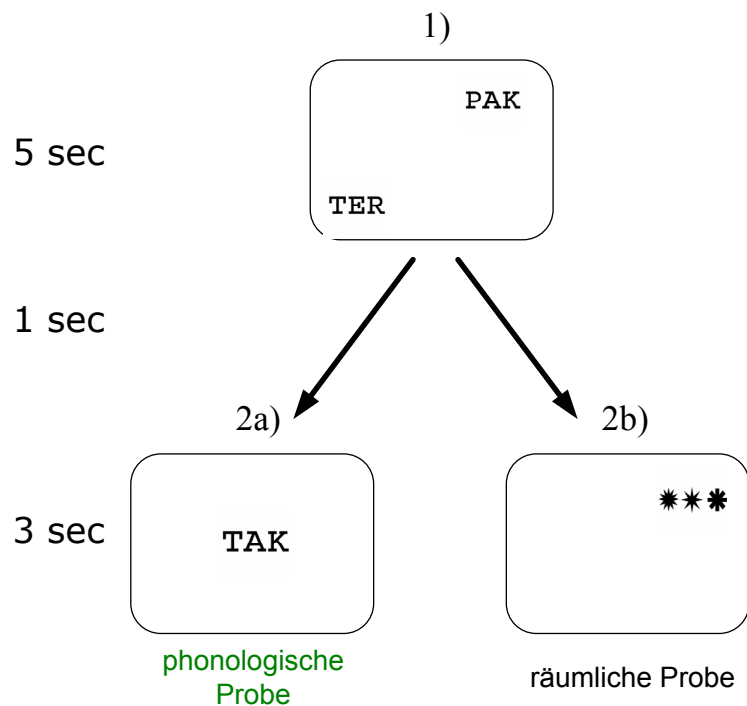


Abbildung 4: Dual-Task phonologisch/räumlich 1) Präsentation der Stimuli (Pseudowörter und deren Positionen); 2a) Präsentation der phonologischen Probe; 2b) Präsentation der räumlichen Probe

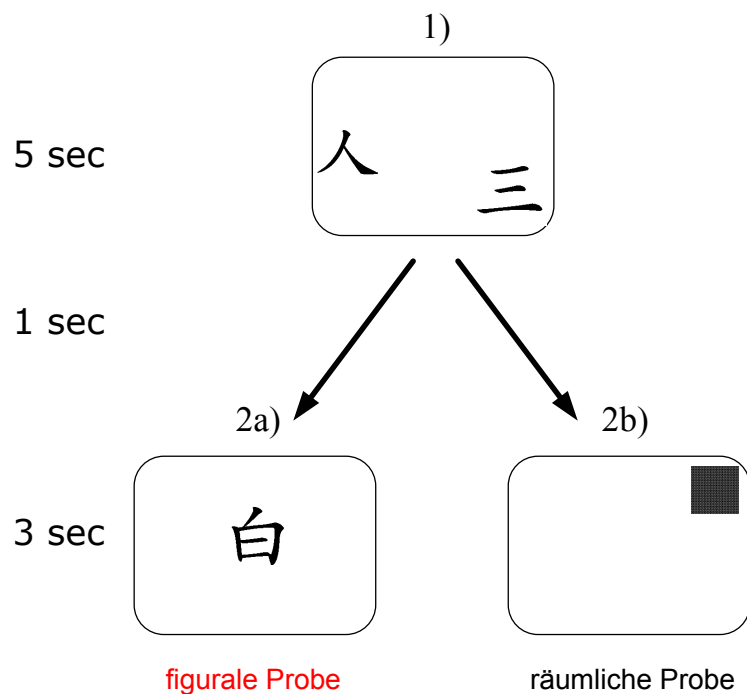


Abbildung 5: Dual-Task figural/räumlich. 1) Präsentation der Stimuli (Pseudowörter und deren Positionen); 2a) Präsentation der phonologischen Probe; 2b) Präsentation der räumlichen Probe

Die beiden Aufgaben haben einen identischen Ablauf. Es werden mit Hilfe eines Computerbildschirms insgesamt 48 Items pro Dual-Task präsentiert, die nach 2 Schwierigkeitsstufen randomisiert wurden. Bei der *phonologisch/räumlichen* Dual-Task Aufgabe wurden 12 Pseudowörter mit 3 Silben und 12 Pseudowörter mit 6 Silben in 12 wechselnden Positionen des Bildschirms (Matrix mit 3 Zeilen und 4 Spalten) präsentiert. Bei der *figural/räumlichen* Dual-Task Aufgabe wurden 12 einfache und 12 komplexere chinesische Zeichen in 12 Positionen präsentiert. Die Pseudowörter und chinesischen Schriftzeichen sind im Anhang aufgelistet.

Bei beiden Aufgaben erhielt der Proband zu Beginn jeder Aufgabe die Anweisung, sich auf zwei Informationen gleichzeitig konzentrieren, d.h. auf die Pseudowörter (oder auf die chinesischen Zeichen) sowie auf deren räumliche Position auf dem Bildschirm. Nach 5 Sekunden wurde der Bildschirm automatisch gelöscht, und nach einer weiteren Sekunde wurde **nur** eine dieser beiden Informationen (die *phonologische*, die *figurale* oder die *räumliche*) abgefragt. Welche dieser beiden Informationen abgefragt werden wird, weiß der Proband zum Zeitpunkt der Enkodierung noch nicht. Erst beim Erscheinen der „Probe“ musste der Proband eine Entscheidung fällen und eine Taste drücken, um die Antwort „Richtig“ oder „Falsch“ zu geben. Die Probanden wurden aufgefordert, ihre Entscheidung möglichst rasch zu treffen. Hierzu wurde ein einfaches Eingabegerät entwickelt, das besonders große Entscheidungstasten mit „grün“ für Richtig und „rot“ für Falsch enthält. (Abbildung 6). Der Proband muss daher in der Lage sein, die relevanten Informationen abzurufen und zu bearbeiten bzw. die irrelevanten zu hemmen, um die richtige Antwort zu geben. Kann er sich nicht schnell genug von der unwichtigen Information trennen, verliert er zu viel Zeit und wird somit zu langsam für die nötige Antwort. Eine zu spät beantwortete Aufgabe wird als Fehler gewertet.

Bei der Auswertung wurden die Reaktionszeiten sowie die Genauigkeit der Antworten registriert. Damit wird die Fähigkeit getestet, flexibel mit konkurrierenden Informationen umzugehen und das richtige Antwortschema

auszuwählen.



Abbildung 6: Eingabegerät mit den Entscheidungswahltasten für „Falsch“ und „Richtig“

Zum Verständnis der Aufgabenstellung sollen hier die unterschiedlichen Aufgabenbedingungen unter Bezugnahme auf die Abbildungen beispielhaft beschrieben werden:

Bei der phonologisch-räumlichen Dual-Task Aufgabe bekam der Proband auf dem Bildschirm Pseudowörter zu sehen, die sich in verschiedenen Positionen befanden (Abbildung 4, oben). Falls die phonologische Probe (Abbildung 4, unten links) präsentiert wurde, musste er entscheiden, ob er das in der Probe gezeigte Pseudowort bei der vorausgegangenen Präsentation (Abbildung 4, oben) gesehen hatte oder nicht. In unserem Beispiel in Abbildung links unten wäre die korrekte Antwort „falsch“ und der Proband hätte die rote Taste drücken müssen. Falls die räumliche Probe gezeigt wurde (Abbildung 4 unten rechts), musste der Proband entscheiden,

ob sich eines der beiden Pseudowörter an der durch die Probe gekennzeichneten Position befand oder nicht. Die räumliche Probe bestand aus 3 oder 6 Sternen, als Stellvertreter für die 3 oder 6 Buchstaben der Pseudowörter. Bei unserem Beispiel (Abbildung 4, unten rechts) wäre die korrekte Antwort „richtig“ und der Proband müsste die grüne Taste drücken.

Bei der figural-räumlichen Dual-Task Aufgabe bekam der Proband auf dem Bildschirm chinesische Zeichen zu sehen, die sich in verschiedenen Positionen befanden (Abbildung 5, oben). Falls die figurale Probe erschien, (Abbildung 5, unten links) musste der Proband entscheiden, ob er das in der Probe gezeigte Zeichen auf dem Eingangsbildschirm bei der vorausgegangenen Präsentation (Abbildung 5, oben) gesehen hatte oder nicht. In dem in Abbildung 5, unten links, dargestellten Beispiel wäre die korrekte Antwort „falsch“ und der Proband hätte die rote Taste drücken müssen. Falls dem Probanden die räumliche Probe gezeigt wurde (Abbildung 5, unten rechts), musste er entscheiden, ob sich eines der beiden Zeichen an der durch die Probe gekennzeichneten Position befand oder nicht. Die räumliche Probe besteht aus einem grauen Quadrat, als Stellvertreter für das chinesische Zeichen. Bei unserem Beispiel (Abbildung 5, unten rechts) wäre die korrekte Antwort wiederum „falsch“ und der Proband müsste die rote Taste drücken.

4.2. Kontrollexperiment

Die drei in Abbildung 7 dargestellten Single-Task Aufgaben wurden mit dem gleichen Ablauf und Design wie die oben beschriebenen Dual-Task Aufgaben entwickelt. Es wurden mit Hilfe eines Computerbildschirms insgesamt 24 Items pro Single-Task präsentiert, die nach zwei Schwierigkeitsstufen randomisiert wurden.

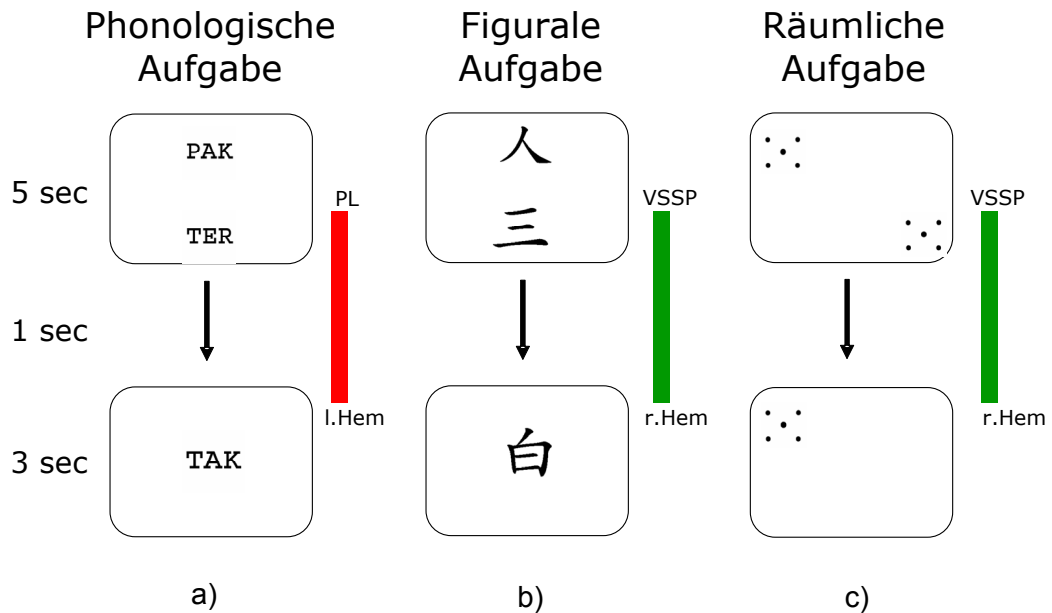


Abbildung 7: Ablaufschema der Single-Tasks: a) Phonologische Single-Task, b) Figurale Single-Task, c) Räumliche Single-Task; PL = phonological loop; VSSP = visuospatial sketchpad; l.Hem = dominante Verarbeitung in der linken Hemisphäre, r.Hem. = dominante Verarbeitung in der rechten Hemisphäre

Bei der phonologischen Aufgabe (Abbildung 7 a) wurde versucht, die Phonological Loop durch das Erkennen von Pseudowörtern zu untersuchen. Es wurden deshalb Wörter ohne Bedeutung, aber mit regulärer Phonologie ausgesucht, um eine semantische Enkodierung zu vermeiden.

Der Proband erhält die Anweisung, sich die Pseudowörter einzuprägen, die auf dem Bildschirm präsentiert werden, um danach eines der beiden wieder zu erkennen. In den ersten 5 sec hat hier der Proband Zeit, um zwei Items zu enkodieren bzw. im Arbeitsgedächtnis zu speichern. Nachdem die beiden Pseudowörter vom Bildschirm verschwinden, muss er beim Erscheinen der Probe (nach einem Intervall von 1 sec) durch das Drücken der Entscheidungstasten signalisieren, ob das gezeigte Pseudowort eines der zuvor präsentierten war oder nicht. Mit dem Drücken der Tasten wird die Reaktionszeit und die Richtigkeit der Antwort erfasst.

Bei der figuralen Aufgabe (Abbildung 7 b) wurde versucht, eine Komponente des Visuospatial Sketchpad, das sogenannte „What“, durch das Erkennen

von chinesischen Zeichen zu untersuchen. Es wurden hier chinesische Zeichen, d.h. nicht verbalisierbare Items gewählt, um sowohl eine semantische als auch eine phonologische Enkodierung zu vermeiden. In den ersten 5 sec enkodiert und speichert der Proband im Arbeitsgedächtnis die Zeichen, die ihm präsentiert werden. Bei der Erscheinung der Probe muss er entscheiden, ob das gezeigte Zeichen eines der beiden zuvor präsentierten Zeichen war oder nicht und die entsprechende Reaktionstaste betätigen.

Bei der räumlichen Aufgabe (Abbildung 7 c) wurde versucht, die andere Komponente des Visuospatial Sketchpad, das „Where“, durch das Erkennen von Positionen zu untersuchen. Es werden nun Punktemuster präsentiert, und der Proband erhält die Anweisung, sich die Positionen dieser Punktemuster einzuprägen. Beim Erscheinen der Probe muss der Proband entscheiden, ob die in der Probe gekennzeichnete Position mit einer der beiden zuvor gezeigten Positionen übereinstimmt oder nicht und die passende Taste drücken.

4.3. Neuropsychologische Testbatterie

Um der Frage nachzugehen, in welchem Verhältnis Dual-Task Defizite zu anderen neuropsychologischen Auffälligkeiten der Patientengruppe stehen, wurde darüber hinaus ein neuropsychologisches Testprofil erhoben (Tabelle 1).

Tabelle 1: Neuropsychologische Testbatterie zur Messung kognitiver Funktionen

| | |
|----------------------------------|--|
| Arbeitsgedächtnis | <ul style="list-style-type: none">• Pattern Span• Span Ziffern (vor und rückwärts)• Corsi Block• TAP: Arbeitsgedächtnis |
| Aufmerksamkeit | <ul style="list-style-type: none">• TAP: Geteilte Aufmerksamkeit• TAP: Visuelles Scanning |
| Exekutive Funktionen | <ul style="list-style-type: none">• Tower of London (Planen)• WCST (induktives Denken)• Regensburger Wortflüssigkeitstest• IST: Gemeinsamkeiten |
| Verhaltensauffälligkeiten | <ul style="list-style-type: none">• BRBV (Bogenhausener Ratingskala zur Beurteilung von Verhaltensauffälligkeiten nach erworbener Hirnschädigung) |

4.3.1. Verfahren zur Prüfung der Arbeitsgedächtnisleistung

4.3.1.1. Verbales Arbeitsgedächtnis

Zur Erfassung der verbalen Arbeitsgedächtnisleistung wurden der Digit Span Test (Zahlennachsprechen vorwärts und rückwärts) aus dem Hamburg-Wechsler Intelligenztest für Erwachsene (HAWIE-R; Tewes, 1991) entnommen. Der Proband wurde aufgefordert, sich zwei bis neun Ziffern lange Zahlenfolgen zu merken und nachzusprechen. Erfasst werden damit Komponenten des Kurzzeitgedächtnisses, der Aufmerksamkeit und der Konzentration und beim Zahlennachsprechen rückwärts zusätzlich Arbeitsgedächtnisfunktionen (Goldman-Rakic, 1987).

4.3.1.2. Visuo-spatiales Arbeitsgedächtnis

Zur Erfassung des non-verbalen visuo-räumlichen Arbeitsgedächtnisses wurde der Corsi Block Span Test (Milner, 1971), der Visual Patterns Test (Della Sala, 1997) und der Untertest „Arbeitsgedächtnis“ aus der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP; Zimmermann & Fimm, 1994) eingesetzt.

Der **Corsi Block Span Test** wurde von Corsi zur Prüfung des räumlichen Gedächtnisses bei lobektomierten Patienten entwickelt. Auf einer schwarzen Holzplatte befinden sich neun schwarze Würfel (Kantenlänge etwa 2 cm), deren nummerierte Flächen dem Untersucher zugewandt waren. Aufgabe des Probanden war es, die vom Untersucher in einer von Schellig und Hättig (1993) vorgegebenen Ordnung und Geschwindigkeit (1/sec) angetippten Blöcke zu erinnern und wiederzugeben.

Der **Visual Patterns Test** wurde von Della Sala et al. (1999) zur Erfassung des visuellen Arbeitsgedächtnisses entwickelt. Der Patient soll sich hier ein visuelles Pattern einprägen und auf Papier wiedererstellen. Der Test ist sehr einfach zu benutzen und auch bei Patienten mit schweren Defiziten anzuwenden.

Bei dem **TAP-Subtest Arbeitsgedächtnis** wird von den Probanden eine kontinuierliche Kontrolle des Informationsflusses durch den Kurzzeitgedächtnisspeicher verlangt, indem der Vergleich von einem gegebenen Reiz - einer auf dem Bildschirm dargebotenen Zahl - mit einem vorher dargebotenen Reiz gefordert ist. Bei Vorliegen eines kritischen Reizes ist eine Reaktionstaste zu drücken.

4.3.2. Verfahren zur Prüfung der Aufmerksamkeit

Zur Erfassung der Aufmerksamkeit wurden die Untertests „Geteilte Aufmerksamkeit“ und „Visuelles Scanning“ aus der Testbatterie TAP eingesetzt.

Die **geteilte Aufmerksamkeit** wird mittels Dual-Task Aufgaben geprüft, in denen gleichzeitig zwei Reizdarbietungen beachtet werden müssen. Um sicher zu stellen, dass es zu keiner strukturellen Interferenz zwischen den Informationskanälen kommt, werden eine optische und eine akustische Aufgabe eingesetzt. In einem ersten Durchgang unter Single-Task Bedingungen wird geprüft, ob die optische und akustische Aufgabe jeweils einzeln bewältigt werden kann. Daran schließt der Durchgang mit Dual-Task Bedingung an.

Mit dem Subtest **Visuelles Scanning** soll die Fähigkeit zum visuellen Abtasten des Gesichtsfeldes geprüft werden. Die Reizvorlage besteht in einer Matrix von Quadraten in einer Anordnung von jeweils 5 Zeilen und 5 Spalten. Die Quadrate sind nach einer Seite offen, und der kritische Reiz stellt ein nach oben offenes Quadrat dar, das in der Matrix enthalten sein kann oder nicht. Der Proband soll anhand zweier Tasten angeben, ob der Zielreiz enthalten ist oder nicht.

4.3.3. Verfahren zur Prüfung exekutiver Funktionen

Zur Erfassung exekutiver Funktionen wurden die Tests „Tower of London“, Wisconsin Card Sorting Test (WCST), Regensburger Wortflüssigkeit und IST-Subtest „Gemeinsamkeiten“ eingesetzt.

Der von Shallice (1982) erstellte Test **Tower of London** dient der Prüfung der vorausschauenden Planungsfähigkeit. In diesem Strategie und

Antizipation erfordernden Test muss der Proband drei auf Holzstäbchen mit unterschiedlicher Länge aufgesteckte farbige Holzkugeln sukzessive von einer vorgegebenen Ausgangssituation in eine ebenfalls vorgegebene Zielposition umstecken. Es darf immer nur eine Kugel nach der anderen bewegt werden. Gewertet wird die Anzahl der notwendigen Züge in einer bestimmten Zeit, um die Zielposition zu erreichen. Die Anzahl der Fehler stellt ein weiteres Kriterium dar. Ein Fehler wäre zum Beispiel, wenn der Proband mehr als eine Kugel in einem Zug umsteckt oder mit den Kugeln nicht an der Steckvorrichtung manipuliert, sondern diese in der Hand behält oder beiseite legt. Da in diesem Verfahren sowohl der Ausgangs- als auch der Zielzustand in der räumlichen Anordnung von Kugeln besteht, wirken sich vor allem Störungen des Arbeitsgedächtnisses für räumliche Informationen leistungsmindernd aus, selbst dann, wenn die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses für visuell-räumliche Bewegungsfolgen nicht beeinträchtigt sein sollte (Owen et al., 1990).

Der von Aschenbrenner, Tucha und Lange (s. Brickenkamp et al., 2000) erstellte **Regensburger Wortflüssigkeits-Test** dient der Erfassung des verbalen divergenten Denkens. Die Untertests bestehen aus formal-lexikalischen und semantischen Wortflüssigkeitstests, welche den (kategorialen) Abruf aus dem formalen bzw. semantischen Lexikon erfordern (mit und ohne Kategorienwechsel). Die Dauer pro Subtest beträgt eine bzw. zwei Minuten, je nach Untersuchungsplan. In dieser Studie wurden die Untertests „S“-Wörter und „G-R“-Wörter (Kategorienwechsel) für die formal-lexikalische Aufgabe und die Untertests „Tiere“ und „Sportarten/Früchte“ (Kategorienwechsel) für die semantische Aufgabe jeweils für zwei Minuten durchgeführt. Die innerhalb der zwei Minuten richtig genannten Items werden addiert und in Prozenträngen angegeben.

Der von Amthauer, Brocke, Liepmann, und Beauducel (1999) entwickelte **Intelligenz-Struktur-Test** (I-S-T 2000 R) ist ein mehrdimensionaler Intelligenztest. Dieser kann durch sein theoretisch fundiertes und empirisch begründetes Strukturkonzept folgende Fähigkeiten erfassen: verbale

Intelligenz (Satzergänzung, Analogien, Gemeinsamkeiten), figural-räumliche Intelligenz (Figurenauswahl, Würfelaufgaben, Matrizen), numerische Intelligenz (Rechenaufgaben, Zahlenreihen, Rechenzeichen), Merkfähigkeit, schlussfolgerndes Denken (Reasoning) sowie als Erweiterung die fluide und kristallisierte Intelligenz (Generalfaktoren). Verbales Wissen, figural-bildhaftes Wissen, numerisches Wissen und allgemeines Wissen (Wissenstest) können mit einem Zusatz-Modul erfasst werden. In dieser Studie wurden die Untertests Gemeinsamkeiten durchgeführt.

4.3.4. Verfahren zur Prüfung von Verhaltensauffälligkeiten

Der Fragebogen zu den dysexekutiven Symptomen (BRBV: Bogenhausener Ratingskala zur Beurteilung von Verhaltensauffälligkeiten nach erworbener Hirnschädigung) wurde von einer Person im sozialen Umfeld bzw. von dem betreuenden Therapeuten der Patienten ausgefüllt. Es handelt sich hierbei um einen Fragebogen mit 20 Items, der entwickelt wurde, um von Patienten und Angehörigen die Selbst- und Fremdeinschätzung zu häufig beobachteten Verhaltensauffälligkeiten des dysexekutiven Syndroms zu erhalten. Die Bereiche, die untersucht werden, sind:

- Emotionale und Persönlichkeitsveränderungen,
- Motivationale Veränderungen,
- Verhaltensveränderungen
- Kognitive Veränderungen

Jedes der 20 Items wird auf einer 3-Punkte-Skala bewertet (0 - 2), welche von „unauffällig“ über „gelegentlich auffällig“ bis „auffällig“ reicht. Der Maximalwert beträgt 40 Punkte. Die Qualität der Informationen, die man erhält, hängt allerdings sehr stark von dem Fremdbeurteiler und dessen Relation zu dem Patienten ab.

4.4. Stichprobe

Die Ergebnisse dieser Untersuchung basieren auf den Daten aus zwei Stichproben (Patienten- und Kontrollgruppe), die hier näher beschrieben werden.

Die klinische Gesamtstichprobe (Patientengruppe) setzt sich aus 16 Männern und 4 Frauen. Durchschnittsalter, Standardabweichung und Minimum sowie Maximum sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Altersverteilung der Patientenstichprobe (n = 20)

| | Mittelwert | SD | Min | Max. |
|-------|------------|-------|-----|------|
| Jahre | 32,3 | 11,74 | 18 | 52 |

Die Überrepräsentation männlicher Patienten liegt daran, dass Männer bis zu dreimal häufiger eine Verletzung des Kopfes erleiden als Frauen (Tabelle 3). Alle 20 Patienten litten unter Störungen von exekutiven und Arbeitsgedächtnisfunktionen nach schwerem gedecktem Schädel-Hirn-Trauma. Bis auf einen Patienten waren alle Rechtshänder.

Tabelle 3: Geschlechtsverteilung der Patientenstichprobe (n = 20)

| | Frauen | Männer |
|---------|--------|--------|
| Anzahl | 4 | 16 |
| Prozent | 20 | 80 |

Es wurden ausschließlich Personen in die Studie miteinbezogen, welche die Einschlusskriterien erfüllten (s. unten, Kapitel 4.4.1. Ein- und Ausschlusskriterien).

Die Rekrutierung der hirngeschädigten Patienten erfolgte aus der Tagesklinik und der Station 35 der Abteilung Neuropsychologie des Städtischen Krankenhauses München Bogenhausen. Anhand der Patientenakten wurden die neu aufgenommenen Patienten mit einem dysexekutiven Syndrom identifiziert und nach Absprache mit dem zuständigen Arzt bzw. Therapeuten zur Untersuchung einbestellt. Die Patienten waren in der Regel mindestens eine Woche ambulant beziehungsweise stationär aufgenommen, bevor sie zur Untersuchung kamen.

Die Kontrollgruppe besteht aus 20 hirngesunden Probanden, 13 Männern und 7 Frauen. Die Altersverteilung ist in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Altersverteilung der Kontrollgruppe (n = 20)

| | Mittelwert | SD | Min | Max. |
|-------|------------|------|-----|------|
| Jahre | 31,95 | 9,59 | 17 | 55 |

Die Kontrollpersonen wurden hinsichtlich des Bildungsniveaus paarweise den Patienten angepasst. Das bedeutet, dass es innerhalb der Kontrollgruppe genauso viele Abiturienten, Realschüler und Grund- bzw. Hauptschüler wie in der Patientenstichprobe gibt. Die Kontrollpersonen wurden aus dem Klinikum Großhadern (Verwaltung, Sekretariat, Werkstatt, Studenten) rekrutiert.

4.4.1. Ein- und Ausschlusskriterien

Das Einschlusskriterium bei den hirnverletzten Patienten stellte die klinisch gestellte Diagnose eines Schädel-Hirn-Traumas mit „dysexekutivem Syndrom“ bzw. „dysexekutiven Symptomen“ dar.

Ausschlusskriterien für alle an der Studie beteiligten Probanden waren ein unzureichendes Verständnis der deutschen Sprache, visuelle und akustische Beeinträchtigungen, Aphasie und Sehstörung oder Neglect. Des Weiteren wurden Personen mit Verdacht auf Alkoholabusus, Drogenabusus und mit einem verbalen Intelligenzquotienten von weniger als 80 IQ-Punkten ausgeschlossen.

4.4.2. Untersuchungsablauf

Es wurden Patienten mit „dysexekutiven Symptomen“ ausgewählt, welche die hier angewendeten Testverfahren noch nicht gemacht hatten. Das Ein- bzw. Ausschluss-Screening wurde dann zum Beginn der eigentlichen Untersuchung durchgeführt. Die hirnerkrankten Patienten wurden am Stützpunkt der Tagesklinik beziehungsweise der Station abgeholt. Die Testung wurde in 2 Untersuchungseinheiten von ca. 40 Minuten geteilt und in dem dafür vorgesehenen Testraum durchgeführt. Zu Beginn der Untersuchung wurde der Patient über den Inhalt und den Ablauf der Untersuchung aufgeklärt. Es wurde auf die Freiwilligkeit und die Möglichkeit, die Untersuchung jederzeit zu unterbrechen, hingewiesen.

4.5. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem SPSS-Programm für Windows, Version 11.5 (SPSS Inc., Chicago, Illinois) durchgeführt. Es wurden Varianzanalysen nach dem Allgemeinen Linearen Modell (GLM) mit Messwiederholung auf einigen Faktoren durchgeführt. Zur Aufklärung von Haupteffekten und Interaktionen wurden gezielte paarweise Vergleiche bzw. Einzelkontraste berechnet. Außerdem wurden Korrelations- und Regressions-Berechnungen durchgeführt, um mögliche Zusammenhänge

zwischen den Leistungsvariablen der Dual-Task Aufgaben und den standardisierten neuropsychologischen Variablen aufzudecken.

5. Ergebnisse

5.1. Vergleich der drei Single-Task Aufgaben

Zuerst wurden die Leistungen in den drei Single-Tasks (phonologisch, figural und räumlich) untersucht.

Die statistische Analyse der Reaktionszeiten (Diagramm 1) für die drei Aufgaben ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Aufgabe ($F = 32,7$; $df = 1,97$; $p \leq 0,001$). Außerdem zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Gruppe ($F = 22,1$; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Die Patienten reagierten generell langsamer als die Gesunden.

Die Interaktion zwischen den beiden Faktoren erwies sich als nicht signifikant ($F = 0,96$; $df = 1,97$; $p = 0,387$), was deutlich macht, dass das Leistungsmuster über die drei Aufgaben hinweg für beide Gruppen vergleichbar war.

Um den Haupteffekt des Aufgaben-Faktors weiter aufzuklären, wurden Einzelkontraste berechnet. Dabei zeigte sich, dass die phonologische und die figurale Aufgabe mit signifikant langsameren Reaktionszeiten verbunden waren als die räumliche Aufgabe ($F = 57,9$; $df = 1$; $p \leq 0,001$ bzw. $F = 46,1$; $df = 1$; $p \leq 0,001$), während sie sich voneinander nicht unterschieden ($F = 0,21$; $df = 1$; $p = 0,653$).

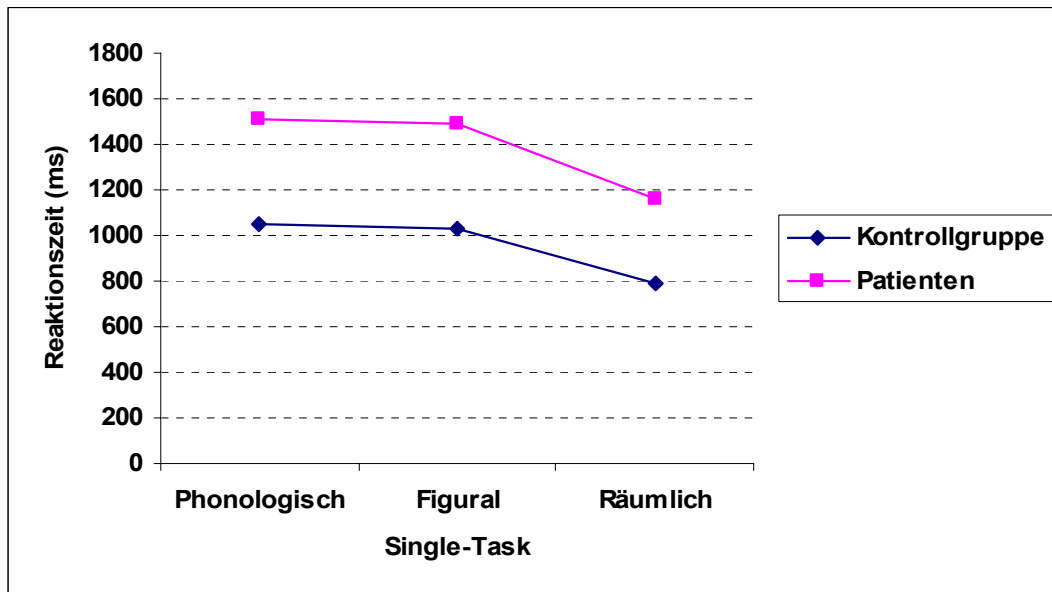


Diagramm 1: Reaktionszeiten der Kontroll- und Patientengruppe bei den drei Single-Task Aufgaben.

Die analoge statistische Analyse der Fehler-Prozentwerte (Diagramm 2) für die drei Aufgaben ergab ebenfalls einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Aufgabe ($F = 14,1$; $df = 1,75$; $p \leq 0,001$). Außerdem zeigte sich wiederum ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Gruppe ($F = 26,8$; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Die Patienten machten allgemein mehr Fehler als die Gesunden. Die Interaktion zwischen den beiden Faktoren erwies sich auch für den Fehlerwert als nicht signifikant ($F = 1,3$; $df = 1$; $p = 0,254$), was wiederum deutlich macht, dass das Leistungsmuster über die drei Aufgaben hinweg für beide Gruppen vergleichbar war.

Um auch hier den Haupteffekt des Aufgaben-Faktors aufzuklären, wurden Einzelkontraste berechnet. Dabei zeigte sich, dass die phonologische und die räumliche Aufgabe mit signifikant geringeren Fehlerwerten verbunden waren als die figurale Aufgabe ($F = 19,4$; $df = 1$; $p \leq 0,001$ bzw. $F = 16,8$; $df = 1$; $p \leq 0,001$), während sie sich voneinander nicht unterschieden ($F = 0,03$; $df = 1$; $p = 0,870$).

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die figurale Aufgabe besonders fehleranfällig ist, während die räumliche Aufgabe zu besonders schnellen Reaktionszeiten führt.

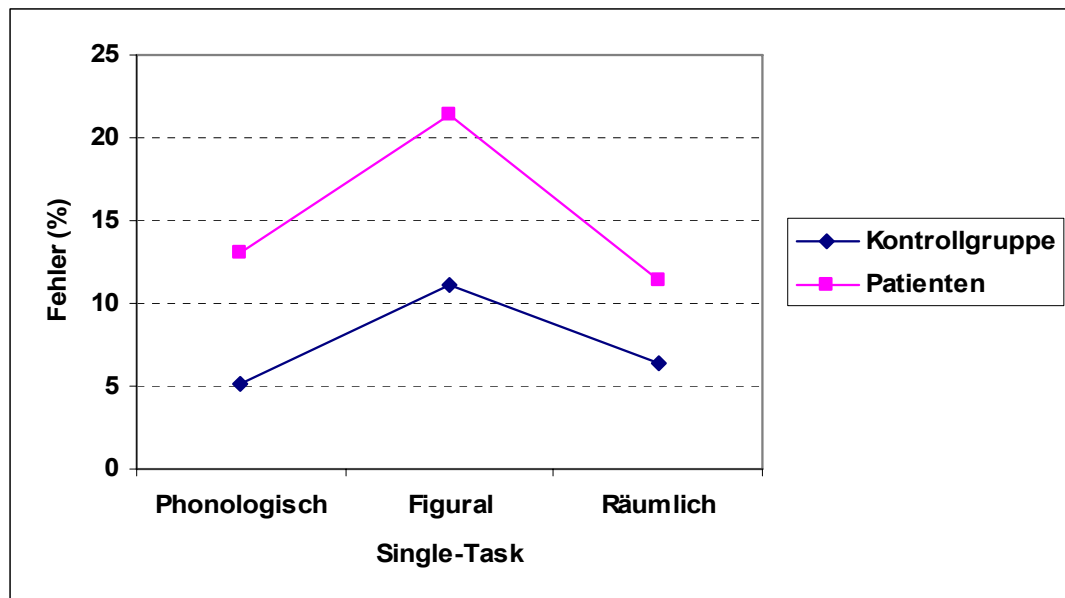


Diagramm 2: Fehlerprozent der Kontroll- und Patientengruppe bei den drei Single-Task Aufgaben.

5.2. Analyse der Dual-Task Effekte

5.2.1. Phonologisch/räumliche Dual-Task Aufgabe

Die Reaktionszeitdaten aus dieser Aufgabenstellung sind in Diagramm 3 abgebildet, im Vergleich mit den Daten der phonologischen und räumlichen Single-Task Aufgabe. Die Daten wurden mit einer dreifaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet, mit den Faktoren Aufgabe (phonologisch, räumlich), Bedingung (Single, Dual) und Gruppe (Kontrollgruppe, Patienten).

Für den Faktor Bedingung fand sich ein signifikanter Haupteffekt ($F = 30,92$; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Unter der Dual-Task Bedingung ergaben sich allgemein

längere Reaktionszeiten als unter der Single-Task Bedingung.

Auch für den Faktor Aufgabe war der Haupteffekt signifikant ($F = 57,46$; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Die Reaktionszeiten bei der Bearbeitung der phonologischen Aufgabe waren höher als bei der räumlichen Aufgabe.

Ebenso ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Gruppe ($F = 26,05$; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Die Patienten reagierten grundsätzlich langsamer als die Gesunden.

Von den Interaktionen erwies sich nur diejenige zwischen Bedingung und Aufgabe als signifikant ($F = 8,26$; $df = 1$; $p = 0,007$). Wie aus Diagramm 3 ersichtlich, kommt es bei der räumlichen Aufgabe zu einem stärkeren Dual-Task Effekt als bei der phonologischen Aufgabe. Der Vorteil der räumlichen im Vergleich zur phonologischen Aufgabe unter Single-Task Bedingung nimmt unter der Dual-Task Bedingung deutlich ab. Dieses Muster ist allerdings für beide Gruppen vergleichbar; der Faktor Gruppe interagiert mit keinem der beiden anderen Faktoren.

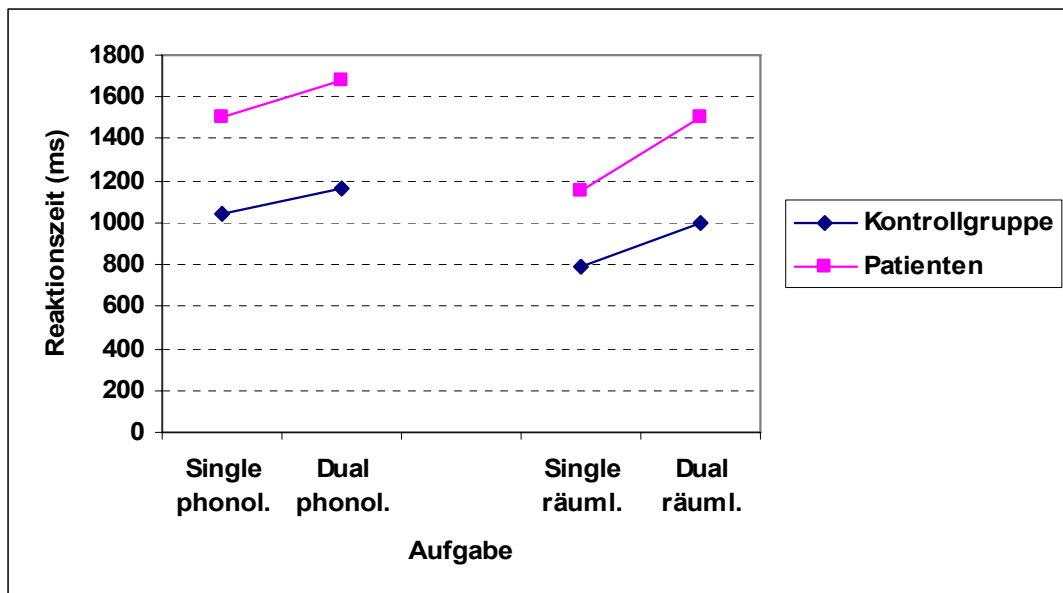


Diagramm 3: Reaktionszeiten der Kontroll- und Patientengruppe bei der phonologisch/räumlichen Dual-Task Aufgabe im Vergleich mit den entsprechenden Single-Task Aufgaben.

In Diagramm 4 sind die Fehlerprozentwerte dargestellt. Auch diese Daten wurden mit einer dreifaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet, mit den Faktoren Aufgabe (phonologisch, räumlich), Bedingung (Single, Dual) und Gruppe (Kontrollgruppe, Patienten).

Für den Faktor Bedingung fand sich ein signifikanter Haupteffekt ($F = 10,41$; $df = 1$; $p = 0,003$). Unter der Dual-Task Bedingung ergaben sich im Durchschnitt höhere Fehlerwerte als unter der Single-Task Bedingung.

Der Haupteffekt für den Faktor Aufgabe erwies sich als nicht signifikant ($F = 0,71$; $df = 1$; $p = 0,405$).

Demgegenüber ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Gruppe ($F = 35,17$; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Die Patienten machten generell deutlich mehr Fehler als die Gesunden.

Von den Interaktionen waren zwei signifikant: diejenige zwischen Gruppe und Bedingung ($F = 7,59$; $df = 1$; $p = 0,009$) und diejenige zwischen Gruppe und Aufgabe ($F = 4,43$; $df = 1$; $p = 0,042$). Aus Diagramm 4 ist zu erkennen, dass der Dual-Task Effekt bei den Patienten stärker ausgeprägt ist als bei den Gesunden. Außerdem ist bei den Patienten, anders als bei den Gesunden, der Dual-Task Effekt für die phonologische Aufgabe wesentlich stärker als für die räumliche Aufgabe. Bei den Gesunden zeigt sich gerade für die phonologische Aufgabe praktisch kein Dual-Task Effekt.

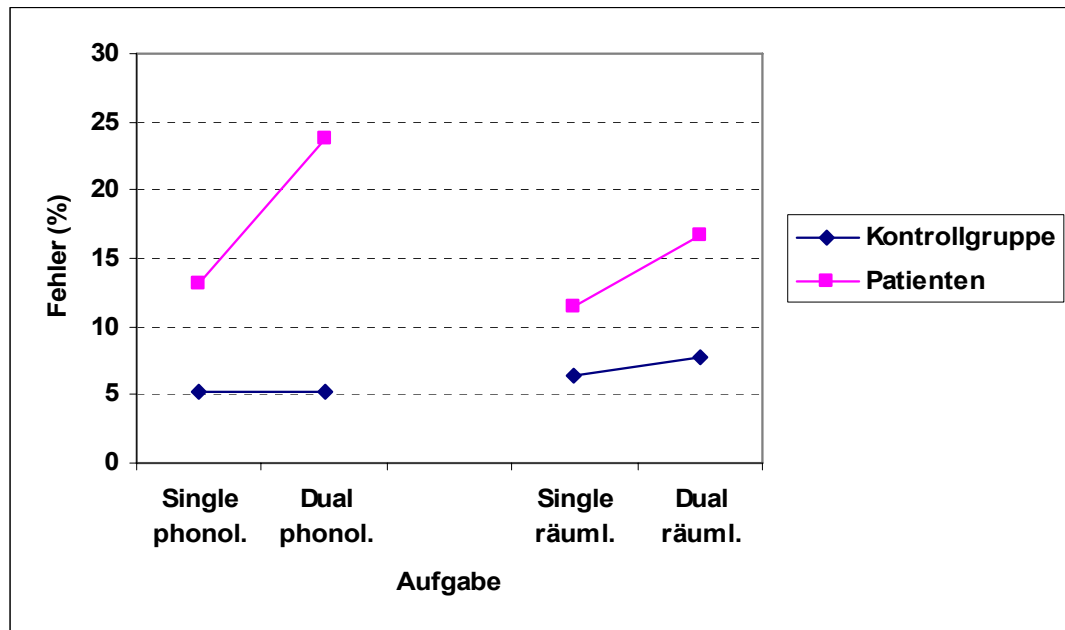


Diagramm 4: Prozentuale Fehlerwerte der Kontroll- und Patientengruppe bei der phonologisch/räumlichen Dual-Task Aufgabe im Vergleich mit den entsprechenden Single-Task Aufgaben.

5.2.2. Figural/räumliche Dual-Task Aufgabe

Die Reaktionszeitdaten aus dieser Aufgabenstellung sind in Diagramm 5 abgebildet, im Vergleich mit den Daten der figuralen und räumlichen Single-Task Aufgabe. Die Daten wurden wiederum mit einer dreifaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet, mit den Faktoren Aufgabe (figural, räumlich), Bedingung (Single, Dual) und Gruppe (Kontrollgruppe, Patienten).

Für den Faktor Bedingung fand sich ein signifikanter Haupteffekt ($F = 57,61$; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Unter der Dual-Task Bedingung ergaben sich allgemein längere Reaktionszeiten als unter der Single-Task Bedingung.

Für den Faktor Aufgabe war der Haupteffekt auch signifikant ($F = 64,63$; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Die Reaktionszeiten bei der Bearbeitung der räumlichen Aufgabe waren niedriger als bei der figuralen Aufgabe.

Ebenso ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Gruppe ($F =$

24,20; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Die Patienten reagierten grundsätzlich langsamer als die Gesunden.

Von den Interaktionen erwies sich nur diejenige zwischen Bedingung und Aufgabe als signifikant ($F = 5,67$; $df = 1$; $p = 0,023$). Wie aus dem Diagramm 5 ersichtlich, kommt es bei der räumlichen Aufgabe zu einem stärkeren Dual-Task Effekt als bei der figuralen Aufgabe. Der Vorteil der räumlichen im Vergleich zur figuralen Aufgabe unter Single-Task Bedingung nimmt unter der Dual-Task Bedingung deutlich ab. Dieses Muster ist allerdings für beide Gruppen vergleichbar; der Faktor Gruppe interagiert mit keinem der anderen Faktoren.

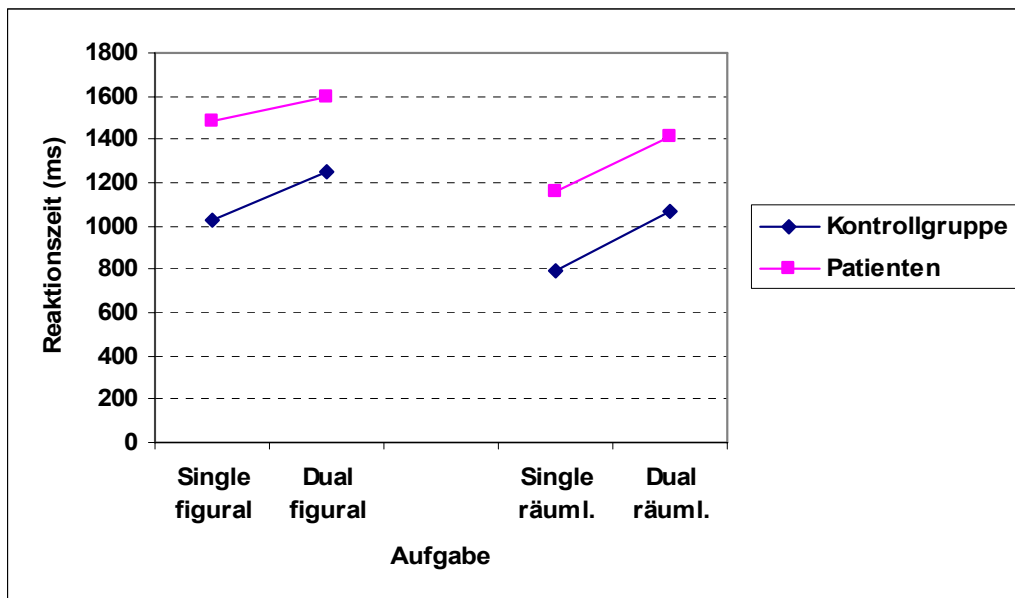


Diagramm 5: Reaktionszeiten der Kontroll- und Patientengruppe bei der figural/räumlichen Dual-Task Aufgabe im Vergleich mit den entsprechenden Single-Task Aufgaben.

In Diagramm 6 sind die Fehlerprozentwerte dargestellt. Auch diese Daten wurden mit einer dreifaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet, mit den Faktoren Aufgabe (phonologisch, räumlich), Bedingung (Single, Dual) und Gruppe (Kontrollgruppe, Patienten).

Für den Faktor Bedingung fand sich ein signifikanter Haupteffekt ($F = 15,45$; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Unter der Dual-Task Bedingung ergaben sich im Durchschnitt höhere Fehlerwerte als unter der Single-Task Bedingung.

Der Haupteffekt für den Faktor Aufgabe erwies sich auch als signifikant ($F = 46,64$; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Bei der figuralen Aufgabe wurden mehr Fehler gemacht als bei der räumlichen Aufgabe.

Auch der Haupteffekt für den Faktor Gruppe war signifikant ($F = 18,05$; $df = 1$; $p \leq 0,001$). Die Patienten machten generell deutlich mehr Fehler als die Gesunden.

Von den Interaktionen erwies sich keine als signifikant; die Interaktion zwischen Bedingung und Aufgabe verfehlte das Signifikanzniveau allerdings nur knapp ($F = 3,49$; $df = 1$; $p = 0,069$). Wie das Diagramm 6 zeigt, war der Dual-Task Effekt bei der figuralen Aufgabe tendenziell stärker ausgeprägt als bei der räumlichen Aufgabe.

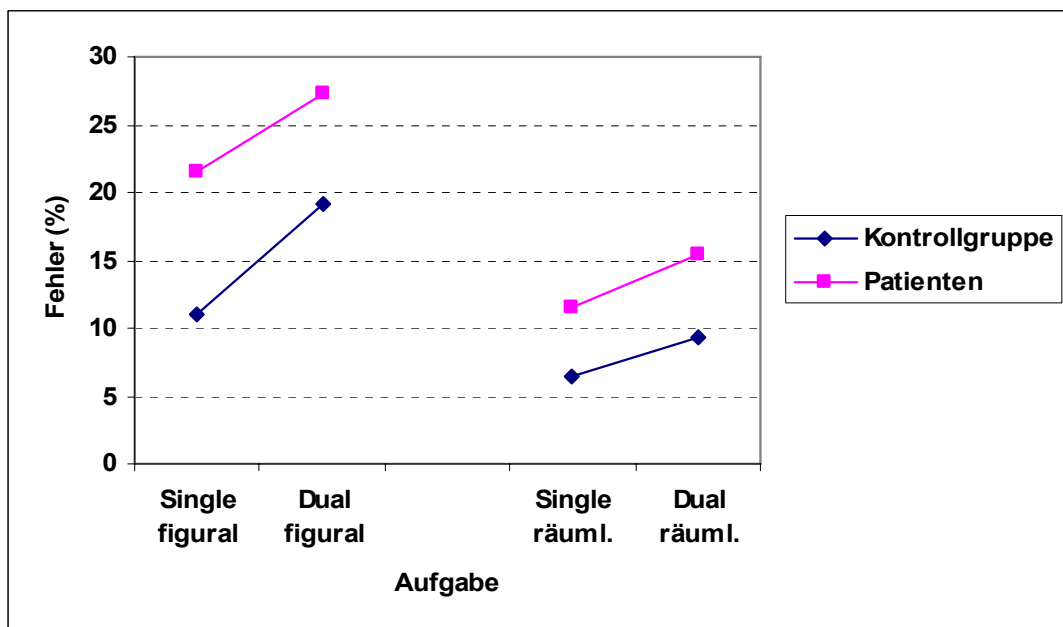


Diagramm 6: Prozentuale Fehlerwerte der Kontroll- und Patientengruppe bei der figural/räumlichen Dual-Task Aufgabe im Vergleich mit den entsprechenden Single-Task Aufgaben.

5.2.3. Vergleich zwischen der phonologisch/räumlichen und der figural/räumlichen Dual-Task Bedingung

Für diesen Vergleich zwischen den beiden Dual-Task Aufgaben wurde der Dual-Task Effekt mit Hilfe von Veränderungswerten ausgedrückt. Dabei wurde die Leistung jeder Versuchsperson unter Dual-Task Bedingung in Beziehung zur Single-Task Bedingung gesetzt. Für die Reaktionszeitwerte wurde folgender Quotient gebildet: „Reaktionszeit unter Dual-Task Bedingung minus Reaktionszeit unter Single-Task Bedingung, dividiert durch Reaktionszeit unter Single-Task Bedingung“. Dieser Quotient zeigt die proportionale Veränderung bzw. Verschlechterung der Reaktionszeiten unter Dual-Task Bedingung im Vergleich zur Single-Task Bedingung.

Für die Fehlerwerte wurde eine Differenz folgender Art gebildet: „Fehlerprozent unter Dual-Task Bedingung minus Fehlerprozent unter Single-Task Bedingung“. Diese Differenz zeigt die Leistungsänderung bzw. Leistungsabnahme unter Dual-Task Bedingung im Vergleich zur Single-Task Bedingung.

Im **ersten Vergleich** wurde untersucht, wie sich die Leistung bei der *räumlichen* Aufgabe in Verbindung mit der phonologischen Aufgabe zur Leistung bei der *räumlichen* Aufgabe in Verbindung mit der figuralen Aufgabe verhält (Diagramm 7 bzw. Diagramm 8).

Für die Reaktionszeiten ist dieser Datenvergleich in Diagramm 7 abgebildet. Der Haupteffekt für den Faktor Aufgabe erwies sich als nicht signifikant ($F = 0,03$; $df = 1$; $p = 0,864$). Ebenso war der Haupteffekt für den Faktor Gruppe nicht signifikant ($F = 0,04$; $df = 1$; $p = 0,852$).

Es zeigte sich jedoch eine signifikante Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren ($F = 5,76$; $df = 1$; $p = 0,022$). Die aus dem Diagramm ersichtliche Interaktion lässt das folgende Muster erkennen: Bei den Patienten nimmt die Reaktionszeit für die *räumliche* Aufgabe in Verbindung mit der *phonologischen* Aufgabe stärker zu als in Verbindung mit der figuralen. Bei

den Gesunden hingegen nimmt die Verarbeitungszeit für die räumliche Aufgabe in Verbindung mit der *figuralen* Aufgabe stärker zu als in Verbindung mit der phonologischen.

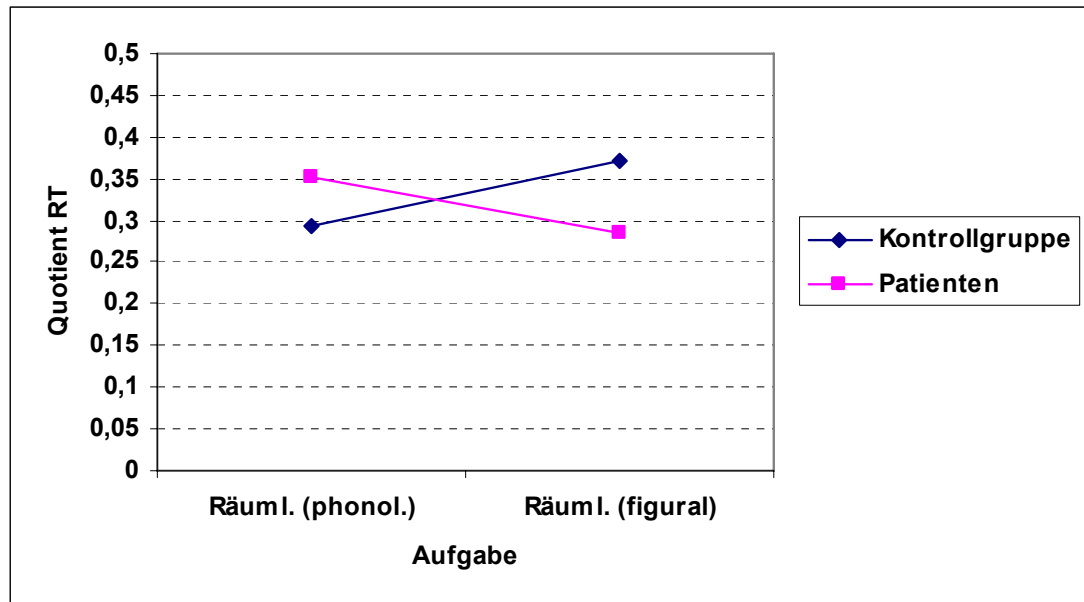


Diagramm 7: Proportionale Veränderung der Reaktionszeiten (ausgedrückt als Quotient für den Dual-Task Effekt) bei der Bearbeitung der räumlichen Aufgabe in Kombination mit der phonologischen bzw. figuralen Aufgabe.

Für die Fehlerwerte ist der entsprechende Datenvergleich in Diagramm 8 dargestellt. Auch hier war weder der Haupteffekt für den Faktor Aufgabe, noch der Haupteffekt für den Faktor Gruppe signifikant ($F = 0,03$; $df = 1$; $p = 0,870$ bzw. $F = 0,49$; $df = 1$; $p = 0,490$). In diesem Fall war aber auch die Interaktion zwischen den beiden Faktoren nicht signifikant ($F = 1,34$; $df = 1$; $p = 0,254$). Rein numerisch betrachtet liegen aber analoge Verhältnisse vor wie bei den Reaktionszeiten.

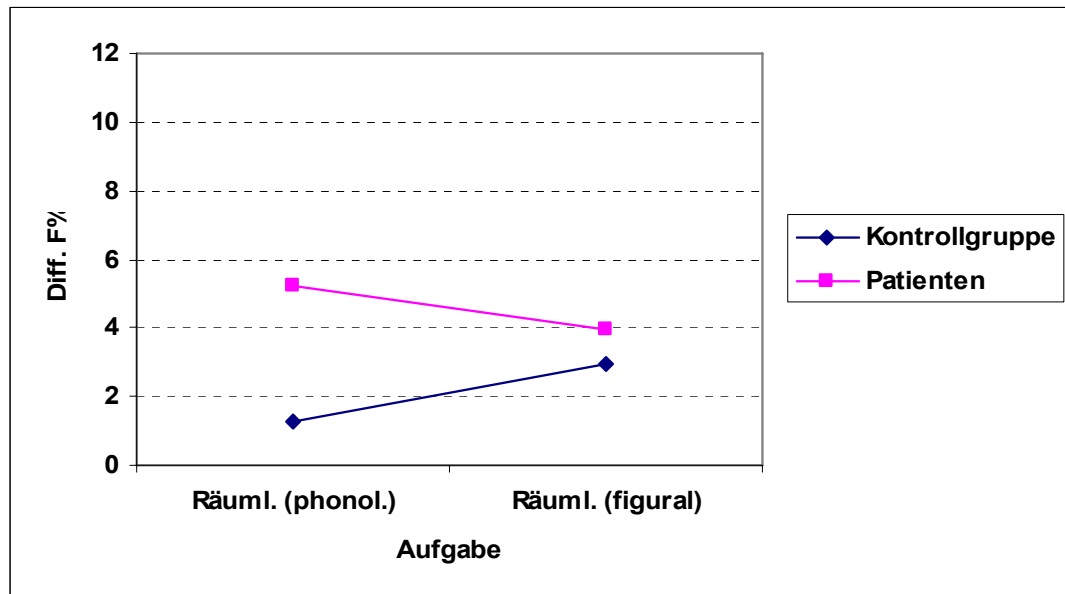


Diagramm 8: Relative Veränderung der prozentualen Fehlerwerte (ausgedrückt als Differenzwert für den Dual-Task Effekt) bei der Bearbeitung der räumlichen Aufgabe in Kombination mit der phonologischen bzw. figuralen Aufgabe.

Im **zweiten Vergleich** wurde untersucht, wie sich die Leistung bei der *phonologischen* Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen Aufgabe zur Leistung bei der *figuralen* Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen Aufgabe verhält (Diagramme 9 und 10).

Für die Reaktionszeiten ist dieser Datenvergleich in Diagramm 9 abgebildet. Weder die Haupteffekte für die Faktoren Aufgabe und Gruppe, noch die Interaktion zwischen den Faktoren war signifikant ($F = 0,26$; $df = 1$; $p = 0,616$ bzw. $F = 1,80$; $df = 1$; $p = 0,188$ bzw. $F = 1,72$; $df = 1$; $p = 0,196$).

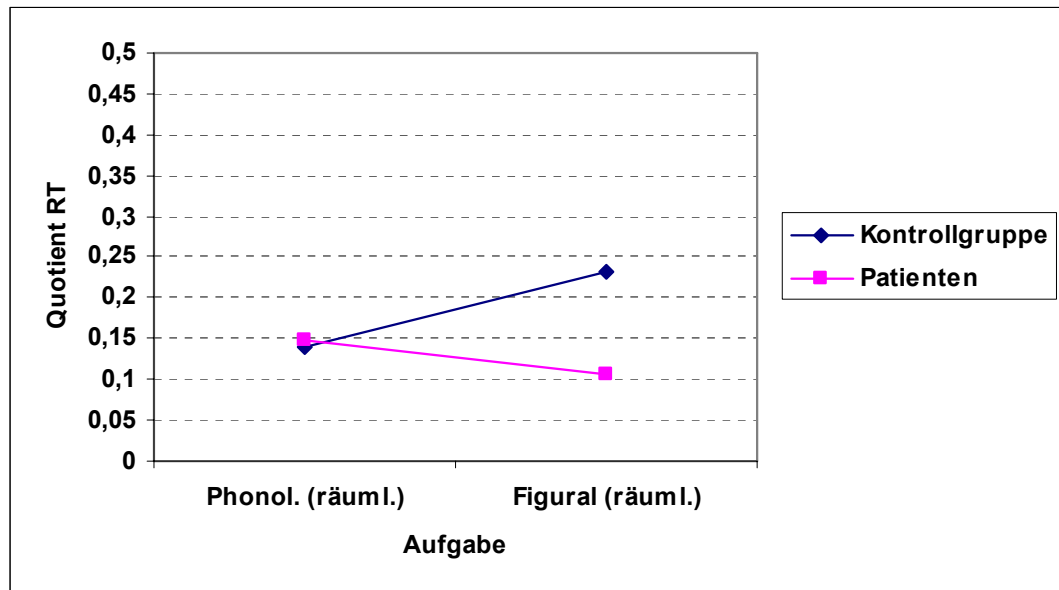


Diagramm 9: Proportionale Veränderung der Reaktionszeiten (ausgedrückt als Quotient für den Dual-Task Effekt) bei der Bearbeitung der phonologischen bzw. figuralen Aufgabe, jeweils in Kombination mit der räumlichen Aufgabe.

Für die Fehlerwerte ist der entsprechende Datenvergleich in Diagramm 10 dargestellt. Weder der Haupteffekt für den Faktor Aufgabe, noch der Haupteffekt für den Faktor Gruppe war signifikant ($F = 0,55$; $df = 1$; $p = 0,462$ bzw. $F = 3,01$; $df = 1$; $p = 0,091$).

Die Interaktion zwischen den beiden Faktoren erwies sich aber als signifikant ($F = 8,31$; $df = 1$; $p = 0,006$). Diese Interaktion hat folgendes Muster: Bei den Patienten nimmt die Fehlerzahl für die *phonologische* Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen Aufgabe stärker zu als für die *figurale* Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen. Bei den Gesunden verhält es sich umgekehrt: Hier nimmt die Fehlerzahl für die *figurale* Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen Aufgabe stärker zu als für die phonologische Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen.

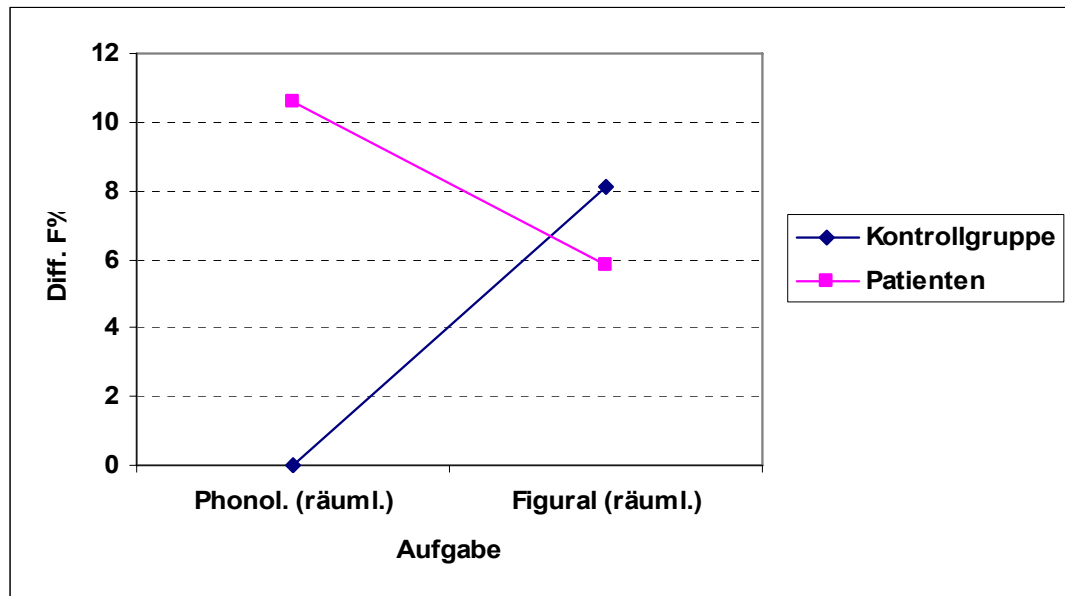


Diagramm 10: Relative Veränderung der prozentualen Fehlerwerte (ausgedrückt als Differenzwert für den Dual-Task Effekt) bei der Bearbeitung der phonologischen bzw. figuralen Aufgabe, jeweils in Kombination mit der räumlichen Aufgabe.

5.3. Dual-Task-Aufgabe und Verhaltensauffälligkeiten

5.3.1. BRBV: Verhaltensauffälligkeiten

Die Bogenhausener Ratingskala für die Beurteilung von Verhaltensauffälligkeiten nach erworbener Hirnschädigung wurde von den jeweiligen Therapeuten durchgeführt. Die Ergebnisse der 20 Patienten sind heterogen, und die Patienten unterscheiden sich deutlich (Tabelle 5).

Tabelle 5: Verteilung der Verhaltensauffälligkeiten der Patientengruppe, mit Mittelwert (M) und Streubereich der BRBV Punkte

| | auffällig | gelegentlich auffällig | unauffällig |
|-------------|--------------|------------------------|-------------|
| Anzahl | 9 | 8 | 3 |
| Prozent | 45 | 40 | 15 |
| M (Bereich) | 15,2 (12-19) | 5,1 (3-8) | 0,0 (0) |

Neun der 20 untersuchten Patienten zeigten deutliche Persönlichkeitsänderungen und Verhaltensauffälligkeiten in allen wichtigen Bereichen der Skala (vorschnelles Handeln, Perseverationen, Nichterkennen sozialer Signale, fehlende oder ungenaue Problemanalyse etc.). Acht Patienten hatten gelegentliches auffälliges Verhalten, bei drei Patienten zeigten sich keine Störungen.

Die Patientengruppe wurde in zwei Subgruppen unterteilt: Patienten mit 12 oder mehr Punkten wurden als deutlich auffällig ($n = 9$), solche mit weniger als 12 Punkten als unauffällig ($n = 11$) eingestuft.

5.3.2. Verhaltensauffälligkeiten und Dual-Task Leistungen: Vergleich zwischen der phonologisch/räumlichen und der figural/räumlichen Dual-Task Bedingung

Die im Folgenden beschriebenen Vergleiche basieren auf den Quotienten für die Reaktionszeitwerte und den Differenzwerten für die Fehlerzahl, welche die Veränderung der Leistung unter Dual- im Vergleich zu Single-Task Bedingung ausdrücken.

Analog zum obigen Vorgehen (Abschnitt 5.2.3) wurde im **ersten Vergleich** untersucht, wie sich die Leistung bei der räumlichen Aufgabe in Verbindung mit der phonologischen Aufgabe zur Leistung bei der räumlichen Aufgabe in Verbindung mit der figuralen Aufgabe in den drei Gruppen verhält (Diagramm 11 bzw. Diagramm 12). Die Gruppe der Gesunden kann dabei als sicher nicht verhaltensauffällig betrachtet werden.

Für die Reaktionszeiten ist dieser Datenvergleich in Diagramm 11 abgebildet. Weder der Haupteffekt für den Faktor Aufgabe noch der für den Faktor Gruppe erwies sich als signifikant ($F = 0,36$; $df = 1$; $p = 0,552$ bzw. $F = 0,08$; $df = 2$; $p = 0,924$). Auch die Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren erreichte nicht das Signifikanzniveau ($F = 2,81$; $df = 2$; $p = 0,073$). Wie aus dem Diagramm ersichtlich, war das Muster der

Reaktionszeitveränderung für alle Gruppen und beide Aufgaben vergleichbar. Die Tendenz ($p = 0,073$) in Richtung einer Gruppe x Aufgabe Interaktion geht auf die Gruppe der Gesunden zurück.

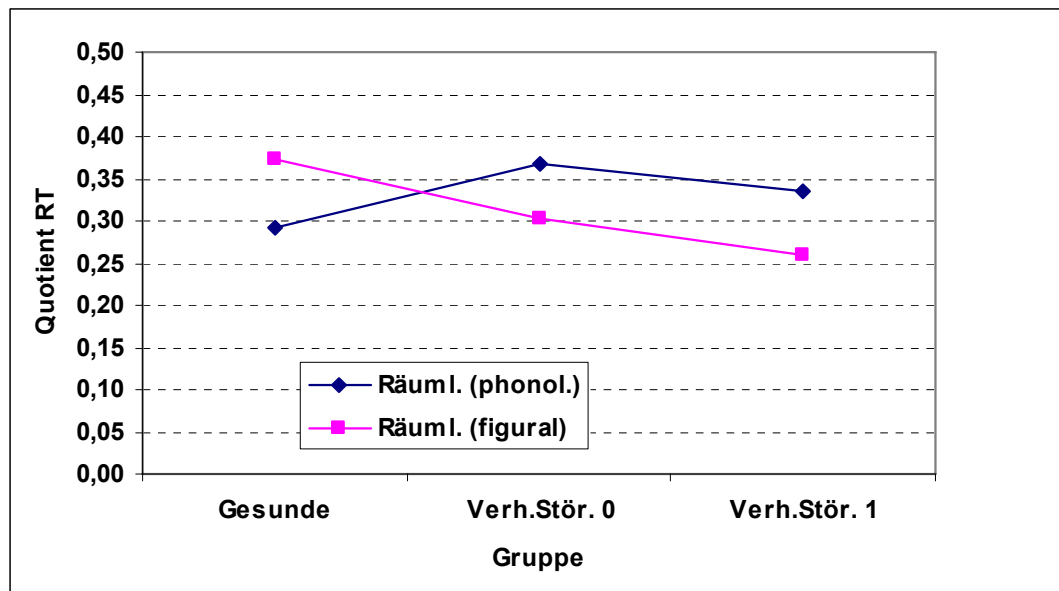


Diagramm 11: Proportionale Veränderung der Reaktionszeiten (ausgedrückt als Quotient für den Dual-Task Effekt) bei der Bearbeitung der *räumlichen* Aufgabe in Kombination mit der phonologischen bzw. figuralen Aufgabe bei den Gesunden und den Patienten ohne und mit Verhaltensauffälligkeiten (Verh.Stör. 0 bzw. 1).

Für die Fehlerwerte ist der entsprechende Datenvergleich in Diagramm 12 dargestellt. Auch hier war weder der Haupteffekt für den Faktor Aufgabe noch für den Faktor Gruppe signifikant ($F = 0,01$; $df = 1$; $p = 0,913$ bzw. $F = 0,56$; $df = 2$; $p = 0,573$). Auch die Interaktion zwischen den beiden Faktoren war nicht signifikant ($F = 1,29$; $df = 2$; $p = 0,288$). Das Muster der Fehlerdifferenzwerte war für alle drei Gruppen und für beide Aufgaben ähnlich.

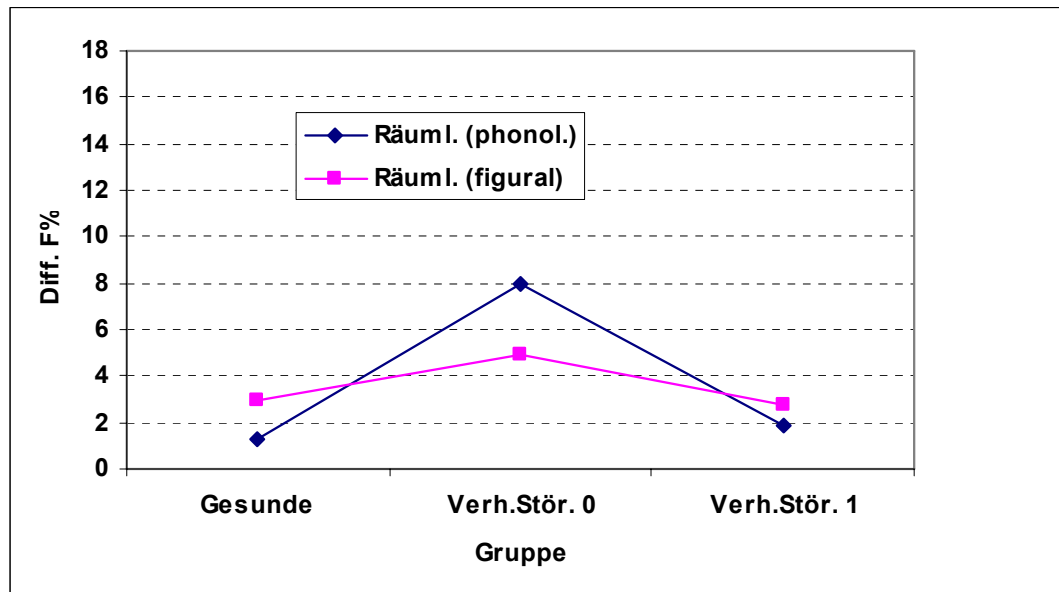


Diagramm 12: Relative Veränderung der prozentualen Fehlerwerte (ausgedrückt als Differenzwert für den Dual-Task Effekt) bei der Bearbeitung der *räumlichen* Aufgabe in Kombination mit der phonologischen bzw. figuralen Aufgabe bei den Gesunden und den Patienten ohne und mit Verhaltensauffälligkeiten (Verh.Stör. 0 bzw. 1).

Im **zweiten Vergleich** wurde geprüft, wie sich die Leistung bei der *phonologischen* Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen Aufgabe zur Leistung bei der *figuralen* Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen Aufgabe verhält (Diagramme 13 und 14).

Für die Reaktionszeiten ist dieser Datenvergleich in Diagramm 13 abgebildet. Weder die Haupteffekte für die Faktoren Aufgabe und Gruppe, noch die Interaktion zwischen den Faktoren war signifikant ($F = 0,02$; $df = 1$; $p = 0,888$ bzw. $F = 0,88$; $df = 2$; $p = 0,423$ bzw. $F = 1,21$; $df = 2$; $p = 0,308$). Wie aus Diagramm 13 ersichtlich, zeigte das Muster der Reaktionszeitveränderung für alle Gruppen und beide Aufgaben keine Unterschiede.

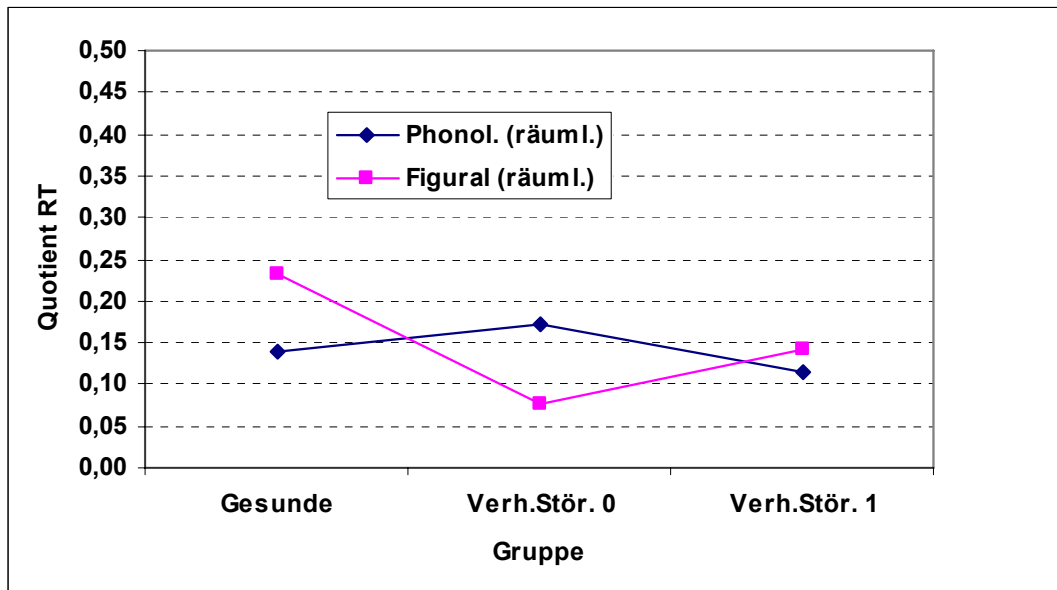


Diagramm 13: Proportionale Veränderung der Reaktionszeiten (ausgedrückt als Quotient für den Dual-Task Effekt) bei der Bearbeitung der *phonologischen* bzw. *figuralen* Aufgabe, jeweils in Kombination mit der räumlichen Aufgabe, bei den Gesunden und den Patienten ohne und mit Verhaltensauffälligkeiten (Verh.Stör. 0 bzw. 1).

Für die Veränderung der Fehlerwerte ist der entsprechende Datenvergleich in Diagramm 14 dargestellt. Weder der Haupteffekt für den Faktor Aufgabe, noch der Haupteffekt für den Faktor Gruppe war signifikant ($F = 0,13$; $df = 1$; $p = 0,718$ bzw. $F = 2,57$; $df = 2$; $p = 0,090$).

Bei diesem Vergleich erwies sich aber die Interaktion zwischen den beiden Faktoren als signifikant ($F = 5,83$; $df = 2$; $p = 0,006$). Diese Interaktion hat folgendes Muster: Bei den Patienten mit Verhaltensauffälligkeiten nimmt die Fehlerzahl für die *phonologische* Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen Aufgabe deutlich stärker zu als für die *figurale* Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen. Bei den Patienten ohne Verhaltensauffälligkeiten unterscheidet sich die Veränderung zwischen der phonologischen und figuralen Aufgabe dagegen nicht. Bei den Gesunden verhält es sich umgekehrt: Hier ist die Fehlerzunahme für die *phonologische* Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen geringer als für die *figurale* Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen. Der Effekt der Verhaltensauffälligkeit betrifft also in besonderer Weise die Leistung bei der phonologischen Aufgabe,

wenn diese mit einer räumlichen Zweitaufgabe kombiniert ist.

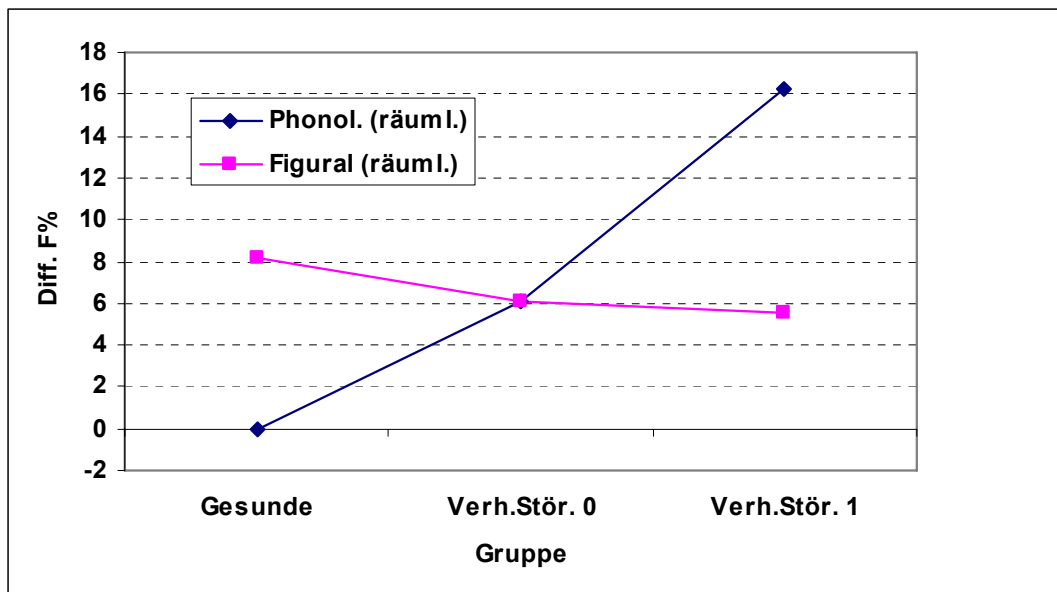


Diagramm 14: Relative Veränderung der prozentualen Fehlerwerte (ausgedrückt als Differenzwert für den Dual-Task Effekt) bei der Bearbeitung der *phonologischen* bzw. *figuralen* Aufgabe, jeweils in Kombination mit der räumlichen Aufgabe, bei den Gesunden und den Patienten ohne und mit Verhaltensauffälligkeiten (Verh.Stör. 0 bzw. 1).

5.3.3 Verhaltensauffälligkeiten: Vergleich der drei Single-Task

Aufgaben

Im Hinblick auf die im vorigen Abschnitt festgestellte besondere Anfälligkeit der Patienten mit Verhaltensauffälligkeiten bei der Bearbeitung der *phonologischen* in Kombination mit der räumlichen Aufgabe erschien es interessant, die beiden Subgruppen der Patienten separat auch bei den Single-Task Bedingungen miteinander zu vergleichen.

Die statistische Analyse der Reaktionszeiten für die beiden Gruppen in den drei Aufgaben (Diagramm 15) ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Aufgabe ($F = 18,35$; $df = 2$; $p \leq 0,001$). Wie auf Grund der früheren

Ergebnisse schon zu erwarten, waren die Reaktionszeiten in der räumlichen Single-Task Aufgabe besonders schnell. Weder der Haupteffekt für den Faktor Gruppe noch die Interaktion zwischen Gruppe und Aufgabe erwiesen sich als signifikant ($F = 1,46$; $df = 1$; $p = 0,242$ bzw. $F = 1,17$; $df = 2$; $p = 0,319$).

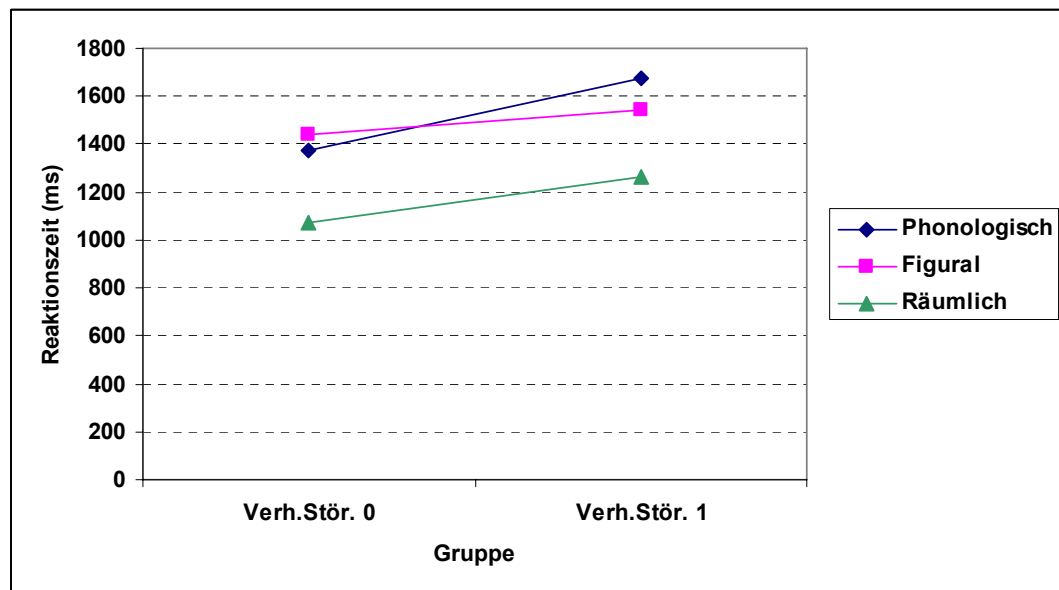


Diagramm 15: Reaktionszeiten der Patienten-Subgruppen ohne und mit Verhaltensauffälligkeiten (Verh.Stör. 0 bzw. 1) in den drei Single-Task Aufgaben.

Die Analyse der Fehlerprozentwerte (Diagramm 16) zeigte wiederum einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Aufgabe ($F = 8,06$; $df = 2$; $p = 0,003$). Die figurale Aufgabe zeigte sich als besonders fehleranfällig im Vergleich mit den beiden anderen Aufgaben. Auch für die Fehlerprozentwerte war weder der Haupteffekt für den Faktor Gruppe noch die Interaktion zwischen Gruppe und Aufgabe signifikant ($F = 3,27$; $df = 1$; $p = 0,087$ bzw. $F = 1,40$; $df = 2$; $p = 0,260$).

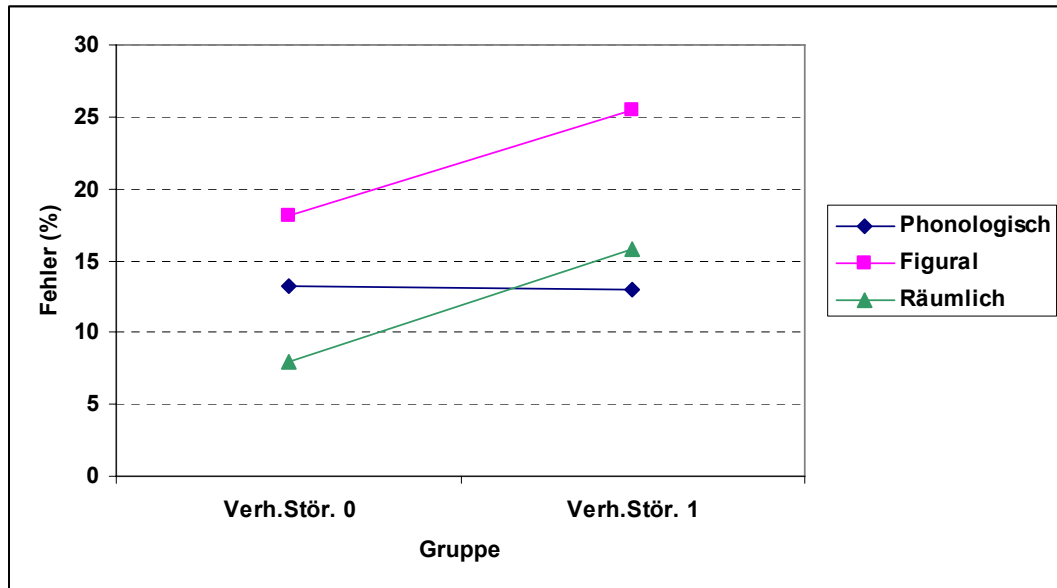


Diagramm 16: Fehlerprozent der Patienten-Subgruppen ohne und mit Verhaltensauffälligkeiten (Verh.Stör. 0 bzw. 1) in den drei Single-Task Aufgaben.

Abgesehen von der schon früher festgestellten Tatsache, dass Unterschiede zwischen den drei Single-Task Aufgaben bestehen, zeigten sich keine Leistungsunterschiede zwischen den beiden Subgruppen von Patienten. Es fand sich auch kein Hinweis darauf, dass das Vorliegen deutlicher Verhaltensauffälligkeiten einen speziellen Effekt auf die Leistungen unter Single-Task Bedingungen ausüben könnte.

5.4. Ergebnisse der neuropsychologischen Testbatterie

Die Leistungen der Patienten in den verschiedenen standardisierten Testverfahren sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Wie für die Mehrzahl der Tests aus den angegebenen Prozentrangwerten zu erkennen ist, liegen die Leistungen erwartungsgemäß im unteren Bereich der Norm. Dies gilt auch für die anderen Tests, bei denen die Cut-off Werte für als pathologisch geltende Testwerte aber meist noch nicht unterschritten werden. Die Minimal- und Maximalwerte lassen die erhebliche Streuung der Leistungen deutlich werden, die für eine Gruppe hirngeschädigter Patienten charakteristisch ist.

Tabelle 6: Testwerte der Gruppe der Patienten (n = 20) in den Verfahren der neuropsychologischen Testbatterie (PR = Prozentrangwerte, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung).

| Testverfahren | M | SD | Min | Max |
|--|------|-------|-----|-----|
| Pattern Span (PR) | 14.9 | 14.92 | 3 | 50 |
| Span Ziffern (Ziffern) | 5.3 | 1.02 | 4 | 8 |
| Corsi Block (Blöcke) | 5.0 | 0.79 | 4 | 7 |
| TAP: Arbeitsgedächtnis (PR) | 33.7 | 25.85 | 1 | 82 |
| TAP: Geteilte Aufmerksamkeit (PR) | 15.7 | 16.31 | 1 | 42 |
| TAP: Visuelles Scanning (PR) | 14.3 | 17.51 | 1 | 50 |
| Tower of London (Planen) (Punkte) | 34.2 | 5.29 | 25 | 47 |
| WCST (induktives Denken) (Kategorien) | 5.5 | 1.43 | 2 | 8 |
| Regensburger Wortflüssigkeit „S-Wörter“ (PR) | 14.1 | 14.10 | 1 | 40 |
| Regensburger Wortflüssigkeit „Tiere“ (PR) | 16.8 | 20.16 | 1 | 58 |
| IST: Gemeinsamkeiten (PR) | 26.2 | 20.21 | 5 | 73 |

Die Berechnung von Korrelationen und Regressionen zwischen den Testleistungen und den Variablen zur Erfassung der Dual-Task Effekte (proportionale Änderungen der Reaktionszeiten und Differenzen der Fehler-Prozentwerte) ergab keinerlei signifikante Beziehungen. Es wird deshalb auf die weitere Darstellung dieser Ergebnisse verzichtet.

5.5. Zusammenfassung der Ergebnisse

Sowohl bei der Kontrollgruppe wie auch bei den Patienten mit Störungen der exekutiven und Arbeitsgedächtnisfunktionen nach Schädel-Hirn-Trauma zeigten sich in dieser Studie die erwarteten Dual-Task Parallelverarbeitungseffekte. Unter Dual-Task Bedingung waren die Reaktionszeiten und die Fehlerzahlen der beiden Gruppen höher als unter Single-Task Bedingung. Dabei waren die Patienten generell langsamer und fehleranfälliger als die Gesunden. Beide Gruppen zeigten hinsichtlich der

Reaktionszeitunterschiede einen stärkeren Dual-Task Effekt bei der räumlichen Aufgabe als bei der phonologischen oder figuralen Aufgabe. Dies bedeutet, dass der Single-Task Vorteil bei der Bearbeitungszeit der räumlichen Aufgabe im Vergleich zur phonologischen bzw. figuralen Aufgabe unter Dual-Task Bedingung deutlich abnimmt. Anhand der Fehlerwerte konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass bei den Patienten der Dual-Task Effekt in der phonologisch/räumlichen Aufgabe stärker ausgeprägt war als bei der Kontrollgruppe. Bei den Patienten interferierte außerdem die phonologische Aufgabe stärker mit der räumlichen Aufgabe als dies für die figurale Aufgabe der Fall war.

In den Vergleichen zwischen der phonologisch/räumlichen und der figural/räumlichen Dual-Task Bedingung anhand der Veränderungswerte (Dual-Task Effekte ausgedrückt durch Reaktionszeit-Quotienten und Fehlerprozent-Differenzen) zeigten sich folgende Ergebnismuster:

Bei der Bearbeitung der räumlichen Aufgabe, wenn diese zusammen mit einer phonologischen Zweitaufgabe dargeboten wurde, zeigten die Patienten stärkere Reaktionszeitzunahmen im Vergleich zur Kombination mit einer figuralen Aufgabe. Bei den Gesunden ergab sich ein spiegelbildliches, umgekehrtes Muster. Hinsichtlich der Fehlerzunahme ergab sich bei keiner Gruppe ein derartiger Effekt.

Bei der Bearbeitung der phonologischen Aufgabe, wenn diese gleichzeitig mit einer räumlichen Zweitaufgabe präsentiert wurde, zeigten die Patienten eine stärkere Fehlerzunahme im Vergleich zur Bearbeitung der figuralen Aufgabe in Verbindung mit der räumlichen Zweitaufgabe. Das Muster der Veränderungswerte bei den Gesunden ging in die umgekehrte Richtung. Hinsichtlich der Reaktionszeitzunahme wurde in diesem Fall kein solcher Effekt gefunden, für keine der beiden Gruppen.

Die bei den Patienten beobachteten phonologisch/räumlichen Dual-Task Parallelverarbeitungsdefizite zeigten darüber hinaus einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit den Scores der Bogenhausener

Ratingskala zur Beurteilung von Verhaltensauffälligkeiten nach erworbener Hirnschädigung (BRBV). Die Patienten-Subgruppe mit deutlichen Verhaltensauffälligkeiten hatte eine stärkere Fehlerzunahme in der Bearbeitung des phonologischen Teils der phonologisch/räumlichen Dual-Task Aufgabe als die anderen Gruppen (Patienten ohne Verhaltensauffälligkeiten und Gesunde). Dass dieser Effekt tatsächlich spezifisch war, zeigte sich im Kontrast zu der fast gleichen Fehlerzunahme bei der Bearbeitung des figuralen Teils in der figural/räumlichen Dual-Task-Aufgabe: In dieser Bedingung unterschieden sich die beiden Patienten-Subgruppen und die Gruppe der Gesunden nicht.

Der Vergleich zwischen den Patienten-Subgruppen hinsichtlich der Single-Task Leistungen lieferte außerdem keinen Hinweis darauf, dass die Subgruppe mit Verhaltensauffälligkeiten bereits unter Single-Task Bedingungen eine besonders starke Leistungsschwäche zeigte, auch und gerade nicht in der Bearbeitung der phonologischen Aufgabe. Das spezielle Dual-Task Defizit dieser Patientenuntergruppe kann insofern als spezifischer Effekt verstanden werden.

6. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden Patienten mit klinisch diagnostizierten dysexekutiven Symptomen nach Schädel-Hirn-Trauma untersucht, bei denen keine weiteren Beeinträchtigungen, wie z.B. Aphasie oder Neglect bestanden. Ziel der Arbeit war zu klären, ob diese Patienten in der Lage sind, mehrere Aufgaben gleichzeitig durchzuführen bzw. ob sie schlechtere Leistungen unter Dual-Task Anforderungen zeigen. Aufgrund der dysexekutiven Störungen bei den Patienten wurde angenommen, dass sich die besonderen Anforderungen der Dual-Task Aufgaben (Dual-Task Coordination und Shifting Prozesse sowie Arbeitsgedächtnis) in einem besonders deutlichen Leistungsabfall unter Dual-Task im Vergleich zu Single-Task Bedingungen zeigen. Es wurde also ein signifikant stärkerer Dual-Task Effekt bei den Patienten als bei den gesunden Kontrollpersonen erwartet.

Im Hinblick auf die Beobachtungen von Damasio (1994) und Shallice et al. (1989) war außerdem zu vermuten, dass neben den kognitiven Beeinträchtigungen auch Verhaltensauffälligkeiten und sozial inadäquate Reaktionen Ausdruck eines dysexekutiven Syndroms sein können. Bei Patienten mit diesen Symptomen wurde deshalb die Möglichkeit eines besonders stark ausgeprägten Dual-Task Defizits in Betracht gezogen.

Vor allem aber wurde die Frage verfolgt, ob unterschiedliche Arten von Information (verbal, figural, räumlich) bei der Parallelverarbeitung mehr oder weniger starke Interferenzeffekte zeigen. Dazu wurde ein neues Dual-Task Paradigma entwickelt. Mit diesem konnte die Leistung bei verschiedenen Parallelverarbeitungsprozessen gemessen werden. Es wurden spezielle „Doppelaufgaben“ entwickelt, die verschiedene Komponenten des „Working Memory“ Modells von Baddeley (1986) und deren Interaktion betreffen. Im ersten Schritt des neuen Dual-Task Paradigmas wurden Aufgaben zur Erfassung der Phonological Loop (Speicherung sprachlicher Information)

entwickelt. Hierzu wurden Pseudowörter gewählt, um eine semantische Enkodierung zu vermeiden und damit so streng wie möglich nur die Speicherung und Verarbeitung phonologischer Information zu messen. In einem zweiten Dual-Task Paradigma wurden Aufgaben zur Erfassung des „Visuospatial Sketchpad“ (Speicherung figuraler Information) entwickelt. Hier wurden chinesische Zeichen verwendet, um möglichst unbeeinflusst von sprachlichen Prozessen die Enkodierung von figuralen Informationen zu messen.

In beiden Paradigmen wurde jeweils als zweite, non-verbale Dual-Task Komponente eine räumliche Aufgabe verwendet. Dabei muss lediglich die räumliche Position eines Stimulus gespeichert und verarbeitet werden. Im Unterschied zur figuralen Aufgabe, die sozusagen das „What“ erfasst, geht es bei der räumlichen Aufgabe um das „Where“ (Ungerleider & Mishkin, 1982; Smith & Jonides, 1999).

Die Modelle zur Erklärung der Leistungsveränderungen unter Dual-Task im Vergleich zu Single-Task Bedingungen gehen meist davon aus, dass es bei der parallelen Verarbeitung unterschiedlicher Informationen dann zu einer besonders deutlichen Leistungsreduktion kommt, wenn die beiden Aufgaben gleichartige Prozesse der zentralen, kognitiven Verarbeitung erfordern, also z.B. entweder jeweils sprachliche oder jeweils non-verbale figurale Prozesse. Gleiches gilt hinsichtlich der zur Aufgabenlösung notwendigen sensorischen Prozesse der Informations-Enkodierung und der motorischen Antwort-Prozesse oder Reaktionen. Unter neuropsychologischem Gesichtspunkt werden dann für beide Aufgaben die Kapazitäten oder Ressourcen derselben oder zumindest überlappender neuronaler Systeme bzw. Hirnregionen beansprucht. Bei ausreichend hohem Schwierigkeitsgrad der Einzelaufgaben führt dies zu Kapazitäts-Überlastungen oder zu neuronalen Interferenzprozessen, die zu einer Leistungsreduktion führen (Dual-Task Effekt).

Für die in der vorliegenden Studie verwendeten Paradigmen bedeutet dies,

dass für die figural/räumliche Dual-Task Aufgabe stärkere Dual-Task Effekte zu erwarten waren als für die phonologisch/räumliche Doppelaufgabe. Im ersten Fall werden die zentralen, neuronalen Verarbeitungsprozesse beide im wesentlichen der nicht-sprachdominanten, rechten Hemisphäre zugeschrieben, während sich im zweiten Fall die Prozesse auf die linke und rechte Hemisphäre verteilen.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass hirngesunde Probanden mit der Verarbeitung von gleichzeitig enkodierter sprachlicher und räumlicher Information (phonologisch/räumliche Dual-Task Aufgabe) weniger Probleme haben, d.h. einen geringeren Dual-Task Effekt für Reaktionszeiten und Fehler in der phonologischen Teilaufgabe zeigen als mit der Bewältigung der figuralen Teilaufgabe bei gleichzeitiger Enkodierung räumlicher Informationen (figural/räumliche Dual-Task Aufgabe). Wurden die Leistungen in der räumlichen Teilaufgabe betrachtet, zeigten die gesunden Kontrollpersonen eine ungenauere und langsamere Verarbeitung (Fehlerzunahme und Reaktionsverlangsamung) in Verbindung mit der figuralen als in Verbindung mit der phonologischen Aufgabe.

Geht man davon aus, dass sprachliche und räumliche bzw. figurale Informationen in unterschiedlichen Hemisphären verarbeitet werden, so weisen diese Ergebnisse auf eine Erleichterung interhemisphärischer Prozesse der Verarbeitung simultan enkodierter Informationen bei Hirngesunden hin. Dies entspricht der allgemeinen Erwartung nach der Dual-Task Modellvorstellung.

Die Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma waren bei beiden Dual-Task-Aufgaben im Allgemeinen langsamer und fehleranfälliger als die Kontrollprobanden, was die Vermutung bestätigte, dass bei dieser Patientengruppe die Parallelverarbeitungsprozesse gestört sind. Allerdings waren die Leistungen der Patienten auch schon bei den Single-Task Aufgaben signifikant schwächer als die der Gesunden. Ein spezielles Dual-Task Defizit der Patienten trat nur unter besonderen Aufgabenbedingungen

zutage: Im Gegensatz zur Kontrollgruppe traten die Schwierigkeiten der Patienten dann in wesentlich stärkerem Maße in Erscheinung, wenn überwiegend linkshemisphärisch verarbeitete Informationen (d.h. sprachliche, phonologische) mit überwiegend rechtshemisphärisch verarbeiteten Informationen (räumlichen) koordiniert werden mussten; dieser Effekt zeigte sich besonders deutlich in der Erhöhung der Fehlerzahl. Bei der parallelen Verarbeitung figuraler und räumlicher Informationen war der Dual-Task Effekt der Patienten mit demjenigen der Gesunden vergleichbar.

Wie die getrennte Betrachtung der Subgruppen von Patienten mit bzw. ohne Verhaltensauffälligkeiten ergab, zeigte sich das gerade beschriebene Defizit vor allem bei den stark verhaltensauffälligen Patienten. Die mögliche Vermutung, dass der besondere Dual-Task Effekt bei dieser Subgruppe auf eine Beeinträchtigung bereits bei der Bewältigung der Single-Task Aufgaben zurückgeführt werden könnte, bestätigte sich nicht; es handelt sich also um ein spezifisches Defizit der parallelen Verarbeitung phonologischer in Verbindung mit der Verarbeitung räumlicher Informationen.

Insgesamt betrachtet weisen die Ergebnisse der Studie auf eine besondere Vulnerabilität sprachlich/räumlicher Parallelverarbeitungsprozesse bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma hin. Möglicherweise sind Exekutivfunktionen, die Informationen aus unterschiedlichen Hemisphären koordinieren, durch die bei diesen Patienten häufig vorliegenden Marklagerläsionen besonders störfähig: Axonale Schädigungen könnten den Informationsaustausch zwischen den Hemisphären erschweren, während der intrahemisphärische Austausch weniger betroffen ist.

Allerdings ließe sich auch vermuten, dass die beiden Teilaufgaben ohne wesentliche interhemisphärische Koordination ausgeführt werden könnten. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass sich die in der vorliegenden Studie entwickelten und verwendeten Paradigmen von den

üblicherweise eingesetzten Dual-Task Aufgaben deutlich unterscheiden: Während die konventionellen Paradigmen zwei ganz verschiedene, von einander unabhängig durchzuführende Teilaufgaben verwenden (z.B. Zahlennachsprechen gleichzeitig mit einer motorischen Tapping-Aufgabe), muss die Versuchsperson im hier verwendeten Paradigma zwei unterschiedliche Merkmale aus ein und demselben Stimulus extrahieren, um die Aufgabe lösen zu können. Dabei weiß sie nie, welches der beiden Merkmale gerade für die Aufgabe (die Probe) relevant sein wird. Diese Aufgabenstellung erfordert sehr wahrscheinlich eine spezielle, besonders hohe Beanspruchung der Aufmerksamkeit, der Informations-Enkodierung und des Arbeitsgedächtnisses.

Im Fall der figural/räumlichen Dual-Task Aufgabe ist dies mit einer dominanten Aktivierung ein und derselben, nämlich der rechten Hemisphäre für beide Teilaufgaben verbunden. Im Fall der phonologisch/räumlichen Aufgabe dagegen werden sowohl die rechte als auch die linke Hemisphäre in Anspruch genommen. Es liegt insofern nahe, den Schluss zu ziehen, dass die Hirnschädigung der Patienten eine gleichzeitige und vielleicht auch gleichgewichtige Aktivierung beider Hemisphären beeinträchtigt. Dieser Schluss bleibt allerdings spekulativ und müsste in Folgestudien mit umfangreicheren Patienten- und Kontrollstichproben überprüft und bestätigt werden.

7. Zusammenfassung

Die Arbeit befasst sich mit der Frage, in welchem Maße und unter welchen Bedingungen Patienten mit einer Hirnverletzung durch Schädel-Hirn-Trauma noch in der Lage sind, zwei Aufgaben gleichzeitig durchzuführen. Störungen dieser Fähigkeit wurden immer wieder als besondere Defizite hirngeschädigter Patienten beschrieben. Die Störung spiegelt sich gewöhnlich darin, dass die Patienten über Konzentrationsschwächen klagen und die Aufgaben des täglichen Lebens - die nicht selten eine Teilung der Aufmerksamkeit auf unterschiedliche Vorgänge und das gleichzeitige Festhalten unterschiedlicher Informationen im Arbeitsgedächtnis verlangen - nicht mehr so gut wie vor dem Unfall bewältigen können. Dabei blieb es aber oft im Unklaren, ob es sich um eine generelle Schwäche der parallelen, simultanen Bewältigung unterschiedlicher Aufgaben handelt oder ob das Defizit nur unter bestimmten, spezifischen Bedingungen der Aufgabenstellung auftritt.

Die Fähigkeit zur parallelen Bewältigung von zwei unterschiedlichen Aufgaben, d.h. zur Bewältigung von Dual-Task Aufgaben wird in der Neuropsychologie häufig als ein besonders wichtiger Aspekt der so genannten exekutiven Funktionen betrachtet, zu denen das Antizipieren, Planen, Ausführen, Kontrollieren und Anpassen von Handlungen sowie die kognitive Flexibilität oder Umstellungsfähigkeit gehören. Diese Prozesse setzen auch ein intaktes Arbeitsgedächtnis voraus.

Bei Dual-Task Aufgaben spielt außerdem insbesondere eine „zentrale Exekutive“ eine wesentliche Rolle, welche die Auswahl von Strategien und die Überwachung und Koordination der verschiedenen sensorischen, kognitiven und motorischen Prozesse gewährleisten muss.

Nach allgemeiner Auffassung sind Störungen der exekutiven Funktionen besonders häufige und gravierende Folgen gedeckter Schädel-Hirn-Traumata,

sehr wahrscheinlich aufgrund der dabei meist eintretenden Schädigung frontaler Hirnstrukturen und des Marklagers mit seinen vielfältigen intra- und interhemisphärischen axonalen Verbindungen. Auch Verhaltensauffälligkeiten und sozial inadäquate Reaktionen der Patienten können als Ausdruck der exekutiven Störungen gedeutet werden.

Von diesen Beobachtungen ausgehend, konzentriert sich die vorliegende Studie auf den Aspekt der Interaktion oder wechselseitigen Interferenz von Parallelverarbeitungsprozessen unter Dual-Task Anforderungen. Um die Frage aufzuklären, unter welchen spezifischen Bedingungen sich Störungen in der parallelen Bearbeitung der unterschiedlichen Aufgaben bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma manifestieren, wurde ein neues Dual-Task Paradigma entwickelt, bei dem phonologische (Pseudowörter) oder figurale (chinesische Schriftzeichen) Informationen jeweils gleichzeitig mit räumlichen Informationen (Position der Stimuli) enkodiert und für eine anschließende Entscheidung im Arbeitsgedächtnis festgehalten werden müssen. Das Paradigma unterscheidet sich von den sonst üblichen Dual-Task Aufgaben dadurch, dass bei jeder Stimuluspräsentation zwei unterschiedliche visuelle Informationen beachtet und im Gedächtnis behalten werden müssen, ohne dass die Versuchsperson dabei weiß, welche der beiden für die bei der anschließenden Abfrage („Probe“) verlangte Antwort relevant ist.

Durch die paarweise Kombination von solchen kognitiven Prozessen, die entweder vorwiegend Verarbeitungs-Ressourcen der linken, sprachdominanten Hemisphäre (phonologische Prozesse) oder aber der rechten Hemisphäre (figurale und räumliche Prozesse) beanspruchen, sollte das Paradigma die Prüfung von Effekten der inter- und intrahemisphärischen Kooperation bzw. Interferenz ermöglichen. Als Vergleichs- oder Kontrollaufgaben wurden jeweils Single-Task Aufgaben mit gleichartigem Stimulusmaterial (Pseudowörter, chinesische Schriftzeichen, Positionsmarkierungen) konstruiert.

Auf der Basis allgemeiner Modellvorstellungen über den Dual-Task Effekt

(Leistungsreduktion unter Dual- im Vergleich zu Single-Task Bedingungen) wurde erwartet, dass die Kombination von solchen Aufgaben, die beide dieselben oder überlappende neuronale Verarbeitungssysteme beanspruchen, zu einem stärkeren Dual-Task Effekt führt als die Kombination von Aufgaben, die unterschiedliche Verarbeitungssysteme beanspruchen. Bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma wurde - aufgrund der bestehenden Störung exekutiver Funktionen - im Vergleich mit Gesunden ein besonders deutlicher Dual-Task Effekt erwartet. Im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen dysexekutiven Störungen und Verhaltensauffälligkeiten wurde weiterhin eine Akzentuierung der Effekte bei Patienten mit klinisch manifesten Verhaltensstörungen vermutet.

Mit den beiden Dual-Task Aufgaben (phonologisch/räumlich und figural/räumlich) und den drei Single-Task Aufgaben wurden 20 Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma und klinisch diagnostizierten Störungen der exekutiven Funktionen sowie 20 gesunde Kontrollpersonen untersucht. Bei den Patienten wurde außerdem eine neuropsychologische Testbatterie zur Erfassung von Aufmerksamkeits-, Arbeitsgedächtnis- und exekutiven Leistungen durchgeführt. Post-hoc wurde die Patientengruppe in eine Subgruppe mit und ohne klinisch manifeste Verhaltensauffälligkeiten (n = 9 bzw. 11) unterteilt.

Wie zu erwarten, waren die Leistungen der Patienten bei allen Single- und Dual-Task Aufgaben deutlich schwächer als diejenigen der Gesunden, sowohl hinsichtlich der Reaktionsschnelligkeit als auch Fehler.

In beiden Gruppen fand sich ein deutlicher Dual-Task Effekt, d.h. eine Reduktion der Leistungen unter den Dual-Task im Vergleich zu den Single-Task Bedingungen, mit folgender Ausnahme: In der phonologisch/räumlichen Dual-Task Aufgabe unterliefen den Gesunden weder bei der phonologischen noch bei der räumlichen Abfrage nennenswert mehr Fehler als bei den korrespondierenden Abfragen der Single-Task Aufgaben. In auffälligem Unterschied hierzu zeigten die

Patienten speziell unter der phonologisch/räumlichen Dual-Task Bedingung einen sehr deutlichen Dual-Task Effekt im Fehler-Score, der außerdem bei der phonologischen Abfrage besonders stark, d.h. überproportional ausgeprägt war.

In Vergleichen zwischen den beiden unterschiedlichen Dual-Task Aufgaben (zu diesem Zweck wurden Veränderungswerte zur Charakterisierung der Dual-Task Effekte berechnet) zeigte sich, zusammenfassend betrachtet, folgendes Muster: In der Patientengruppe war der Dual-Task Effekt sowohl bei der phonologischen als auch bei der räumlichen Abfrage in der Kombination der verbalen mit der nonverbalen Aufgabe (phonologisch/räumlich) numerisch stärker ausgeprägt als bei der figuralen und räumlichen Abfrage in der Kombination der beiden non-verbalen Aufgaben (figural/räumlich); in der Kontrollgruppe der gesunden Personen waren die Verhältnisse der numerischen Werte des Dual-Task Effekts genau umgekehrt (wobei die Gesunden im Fehlerwert der phonologischen Abfrage praktisch keinerlei Dual-Task Effekt zeigten)

Statistisch signifikant war dieses Muster des Dual-Task Effekts (eine Interaktion zwischen den Faktoren Gruppe und Aufgabe) allerdings nur für die Reaktionszeit bei den räumlichen Abfragen und für die Fehler bei der phonologischen bzw. figuralen Abfrage. Bei der Differenzierung zwischen Subgruppen von Patienten ohne und mit Verhaltensauffälligkeiten ergab sich, dass der besonders starke Dual-Task Effekt der Fehler bei der phonologischen Abfrage im Wesentlichen auf die Leistungen der verhaltensauffälligen Patienten zurückging.

Zwischen den Leistungen der Patienten bei den verschiedenen standardisierten neuropsychologischen Tests und den Variablen zur Erfassung der Dual-Task Effekte (proportionale Änderungen der Reaktionszeiten und Differenzen der Fehler-Prozentwerte) bestanden keine signifikanten Korrelationen.

Die Hypothese, dass Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma generell eine besondere Schwäche in der Bewältigung von Dual-Task im Vergleich zu Single-Task Anforderungen zeigen, wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie in dieser allgemeinen Form der Aussage nicht bestätigt: Die relative Leistungsreduktion im Sinne des Dual-Task Effekts war bei Patienten und Gesunden für die Mehrzahl der erhobenen Variablen vergleichbar stark; die Leistungen der Patienten lagen lediglich auf einem deutlich niedrigeren Niveau als die der Gesunden.

Eine besondere Dual-Task Schwäche der Patienten, die in deutlichem Kontrast zum Leistungsmuster der Gesunden steht, konnte jedoch für eine bestimmte Aufgabenstellung nachgewiesen werden: die Kombination der phonologischen mit der räumlichen Aufgabe. Während den Gesunden hierbei generell nur wenige Fehler unterliefen, zeigten die Patienten als Dual-Task Effekt einen deutlichen Leistungseinbruch, der vor allem die phonologische Komponente der Enkodierung und des Arbeitsgedächtnisses betraf. Dieses spezielle Defizit weist auf eine besondere Vulnerabilität sprachlich/räumlicher Parallelverarbeitungsprozesse bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma hin.

Im Hinblick auf die Tatsache, dass die Bewältigung der phonologisch/räumlichen Dual-Task Aufgabe sowohl spezifisch rechtshemisphärische als auch spezifisch linkshemisphärische kognitive Prozesse in Anspruch nimmt, liegt der Schluss nahe, dass die Hirnschädigung der Patienten eine gleichzeitige und vielleicht auch gleichgewichtige Aktivierung beider Hemisphären beeinträchtigt. Möglicherweise spielen hierbei die bei Patienten mit gedecktem Schädel-Hirn-Trauma häufig vorliegenden Marklagerläsionen und axonalen Schädigungen eine besondere Rolle.

Diese Schlussfolgerungen sind allerdings vorerst spekulativ und bedürfen der Überprüfung durch Folgestudien mit umfangreicheren Patienten- und Kontrollgruppen.

8. Literaturverzeichnis

- Alderman, N. & Burgess, P. (1990). Integrating cognition and behaviour: A pragmatic approach to brain injury rehabilitation. In: R.L. Wood, I. Fussey (Eds.). Cognitive rehabilitation in perspective, 204-228. London: Taylor & Francis.
- Alderman, N. & Ward, A. (1991). Behavioural treatment of the dysexekutive syndrome: Reduction of repetitive speech using response cost and cognitive overlearning. *Neuropsychological Rehabilitation*, 1, 65-80.
- Alderman, N. (1996). Central executive deficit and response to operant conditioning methods. *Neuropsychological Rehabilitation*, 6 (3), 161-186.
- Alderman, N., Fry, R. & Youngson, H.A. (1995). Improvement of self-monitoring skills, reduction of behaviour disturbance and the dysexekutive syndrome: Comparison of response cost and a new programme of selfmonitoring training. *Neuropsychological Rehabilitation*, 5, 193-221.
- Andrés, P., Van der Linden, M. (2001). Are central executive functions working in patients with focal frontal lesions? *Neuropsychologia*, 40, 835-845.
- Arnold, U. & Pössl, J. (1993). Psychopathologische Diagnostik. In: D.Y. von Cramon, N. Mai, W. Ziegler (Hrsg.). *Neuropsychologische Diagnostik*, 287f. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft.
- Aschenbrenner, S., Tucher, O. & Lange, K.W. (2000). Der Regensburger Wortflüssigkeits- Test. Handanweisung. Hogrefe Verlag.
- Baddeley, A.D. & Hitch, G.J. (1974). Working Memory. In: G.A. Bower (Ed.). *Recent advances in motivation and learning*, Vol. 8, 47-90. New York: Academic Press.
- Baddeley, A.D. & Wilson, B. (1988). Frontal amnesia and the dysexecutive syndrome. *Brain and Cognition*, 7, 212-230.
- Baddeley, A.D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley, A.D. (1995). The psychology of memory. In : A.D. Baddeley, B.A. Wilson, F.N. Watts (eds.) *Handbook of memory disorders*, 3-25. Chichester: Wiley.
- Baddeley, A.D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 5-28.
- Baddeley, A.D. (1996). Working Memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5-28.

- Baddeley, A.D. (1997). Human memory: The theory and practice (revised edition). Hove: Psychology Press.
- Baddeley, A.D. (1998). The central executive: A concept and some misconceptions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4, 523-526.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Science*, 4 (11), 417-423.
- Baddeley, A.D., Della Sala, S., Papagno, C. & Spinnler, H. (1997). Dual-task performance in dysexecutive and non-dysexecutive patients with frontal lesion. *Neuropsychology*, 11 (2), 187-194.
- Benson, D.F. (1994) The neurology of thinking. New York: Oxford University Press
- Benton, A.L. (1991). The prefrontal regions: Its early history. In: H.S. Levin, H.M. Eisenberg & A.L. Benton (Eds.). *Frontal lobe function and dysfunction*, 3-32. New York: Oxford University Press.
- Blumer, D. & Benson, D.F. (1975). Personality changes with frontal and temporal lobe lesions. In: D.F. Benson & D. Blumer (Eds.). *Psychiatric aspects of neurological disease*, 151-170. New York: Grune & Stratton.
- Bowers, C., Price, C., LaBarba, R., Cannon-Bowers, J., Borjesson, W., Vogel, J. (2000). Decision making in dual-task environments: Analysis of hemispheric competition effects. *Perceptual and Motor Skills*, 91, 237-245.
- Brazzelli, M., Colombo, N., Della Sala, S., Spinnler, H. (1994). Spared and impaired cognitive abilities after bilateral frontal damage. *Cortex*, 30, 27- 51.
- Burgess, P., Alderman, N. (1990). Rehabilitation of dyscontrol syndromes following frontal lobe damage: A cognitive neuropsychological approach. In: R.L. Wood & I. Fussey (Eds.). *Cognitive Rehabilitation in perspective*, 183-203. London: Taylor & Francis.
- Burgess, P., Alderman, N., Wilson, B., Evans, J., Emslie, H. (2000). *Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome*. Thames Valley Test Company.
- Burgess, P., Alderman, N., Evans, J., Emslie, H. (1998). The ecological validity of tests of executive function. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4, 547-558.
- Burruss, J.W., Hurley, R.A., Taber, K.H., Rauch, R.A., Norton, R.E., Hayman, L.A. (2000). Functional neuroanatomy of the frontal lobe circuits. *Radiology*, 214, 227-230.
- Cambridge, MA: MIT Press.
- Collette, F., Oliver, L., Van der Linden, M., Laureys, S., Del fiore, G., Luxen, A.,

- Salmon, E. (2005). Involvement of both prefrontal and inferior parietal cortex in dual-task performance. *Brain Res. Cogn. Brain Res.*, 24 (2), 237-51.
- Collette, F., Salomon, E., Van der Linden, M., Chicherio, C., Belleville, S., Degueldre, C., Delfiore, G. And Franck, G. (1999). Regional brain activity during tasks devoted to the central executive of working memory, *Cognitive Brain Research*, vol. 7., Issue 3, 411-417.
- Collette, F., Van der Linden, M.. (2001) Brain imaging of the central executive component of working memory, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 26, 105-125.
- Conway, A.R., Engel, R.W. (1994). Working memory and retrieval: A resource dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology*, 123, 354-373.
- Cope, D.N. (1994). Traumatic brain injury rehabilitation outcome studies in the United States. In: A.L. Christensen, B.P. Hazzell (Eds.) *Brain injury and neuropsychological rehabilitation, international perspectives*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Cramon, D.Y. von, Mai, N., Ziegler, W. (1993). *Neuropsychologische Diagnostik*, 70. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft (1. Auflage).
- Cramon, D.Y. von, Matthes von Cramon, G. (1995). Problemlösendes Denken. In: Cramon D.Y. von, Mai, N., Ziegler, W. (Hrsg.) *Neuropsychologische Diagnostik*, 2. Auflage. Chapman & Hall, Weinheim, 123-152.
- Curtis, C.E. (2005). Prefrontal and parietal contributions to spatial working memory, *Neuroscience* (article in press).
- Curtis, C.E. and D'Esposito, M. (2003). Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory, vol. 7., 415-423.
- Curtis, C.E. and D'Esposito, M. (2004). The effects of prefrontal lesions on working memory performance and theory, *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*, 4 (4), 528-539.
- Curtis, C.E. Zald, D.H and Pardo, J.V. (2000). Organization of working memory within the human prefrontal cortex: a PET study of self-ordered object working memory, *Neuropsychologia*, 38, 1503-1510.
- D'Esposito, M., Grossmann, M. (1998). The physiological basis of executive function and working memory. *The Neuroscientist*, 2, 345-352.
- Damasio, A.R. (1995). On some of the human prefrontal cortex. In: J. Grafman, K.J. Holyoak, F. Boller (Eds.). *Structure and function of the human prefrontal cortex*, 161-190. New York: Annals of the New York Academy of Sciences.

- Damasio, H., Gabowski, T., Frank, R., Galaburda, A.M., Damasio, A.R. (1994): The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, 265 (5176), 1159.
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A.M., Damasio A.R. (1994). The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, 264, 1102-1105.
- Della Sala, S., Baddeley, A., Papagno, C., Spinnler, H. (1995). Dual-task paradigm: A means to examine the central executive. In: J. Grafman, K.J., Holyoak, F., Boller (Eds.). *Structure and functions of the human prefrontal cortex*. New York: Annals of the New York Academy of Sciences.
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., Wilson, L. (1999). Pattern span: a tool for unwinding visuo-spatial memory, *Neuropsychologia*, 37, 1189-1199.
- Dubois, B., Slachevsky, A., Litvan, I. Pillon, B. (2000). The FAB: A frontal assessment battery at bedside. *Neurology*, 55, 1621-1626.
- Eslinger, P.J., Damasio, A.R. (1985). Severe disturbance of higher cognition after bilateral frontal ablation: Patient EVR. *Neurology*, 35, 1731-1741.
- Eslinger, P.J., Grattan, L.M. (1993). Frontal lobe and frontal-striatal substrates for different forms of human cognitive flexibility. *Neuropsychologia*, 31 (1), 17-28.
- Ettlin, T.M., Kischka, U., Beckson, M., Gaggiotti, M., Rauchfleisch, U., Benson, D.F. (2000). The frontal lobe score. Part I: Construction of a mental status of frontal systems. *Clinical Rehabilitation*, 14, 260-271.
- Förstl, H. (2002) *Frontalhirn. Funktionen und Erkrankungen*. Springer Verlag.
- Friedman, A., Polson, M.C. (1981). Hemispheres as independent resource systems: Limited-capacity processing and cerebral specialization. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 1031-1058.
- Gauggel, S. (2002). Neuropsychologische Therapie der Frontalhirnstörungen: Therapieprogramme. In: W. Sturm, M. Herrmann, C.W. Wallesch (Hrsg.). *Lehrbuch der klinischen Neuropsychologie*, p 339 ff. Swets & Zeitlinger Publishers.
- Goldenberg, G., Oder, W., Spatt, J., Podreka, I. (1992). Cerebral correlates of disturbed executive function and memory in survivors of severe closed head injury - a SPECT study. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 55, 362-368.
- Goldman-Rakic, P.S. (1987) Circuitry of primate prefrontal cortex and regulation of

- behaviour by representational memory. In F.Plum (Ed.) Handbook of physiology, 5: Higher functions of the brain.F
- Goldstein, K. (1952). The effect of brain damage on the personality. *Psychiatry*, 15, 245-260.
- Grafman, J., Litvan, I., Massaquoi, S., Stewart, M., Sirigu, A., Hallett, M. (1992).Cognitive planning deficit in patients with cerebellar atrophy. *Neurology*,42, 1493-1496.
- Hartman, A., Pickering, R.M., Wilson, B.A. (1992): Is there a central executive deficit after severe head injury? *Clinical Rehabilitation*, 6, 133-140.
- Klein, G.S. (1964). Semantic power measured through the interference of words with color-naming. *American Journal of Psychology*, 77, 576-588.
- Lezak, M.D. (1995). *Neuropsychological Assessment*. 3.Aufl. New York: Oxford University Press.
- Lhermitte, F. (1986). Human autonomy and the frontal lobes. Part II: Patient behavior in complex and social situations: The environmental dependency syndrome. *Annals of Neurology*, 19, 335-343.
- Lhermitte, F., Pillon, B., Serdaru, M. (1986). Human autonomy and the frontal lobes. Part I: Imitation and utilization behavior: A neuropsychological study of 75 patients. *Annals of Neurology*, 19, 326-334.
- Logie, R.H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- M.A. Goodale, R.J.W. Mansfield (Eds.). *Analysis of visual behavior*.
- Matthes-von Cramon, G., von Cramon, D.Y. (2000). Störungen exekutiver Funktionen. In: Sturm W., Herrmann, M., Wallesch, C.W. (Hrsg.). *Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie*, 392-410. Swets & Zeitlinge
- McDowell, S.,Whyte, J., D'Esposito, M. (1997). Working memory impairments in traumatic brain injury: evidence from a dual-task paradigm. *Neuropsychologia*, Vol 35, No. 10, 1341-1353.
- Milner, B. (1963). Effects of different brain lesions on card sorting: The role of the frontal lobes. *Archives of Neurology*, 9; 90-100.
- Milner, B., Petrides, M. (1984). Behavioral effects of frontal-lobe lesions in man. *Trends in Neurosciences*, 7, 403-406.
- Nelson, H.E. (1976). A modified card sorting task sensitive to frontal lobe defects. *Cortex*, 12, 313-324.
- Owen, A.M., Downes, J.J., Sahakian, B.J., Polkey, C.E., Robbins, T.W. (1990). Planning and spatial memory following frontal lobe lesions in man.

- Neuropsychology, 28, 1021-1034.
- Pashler, H., O'Brien, S. (1993). Dual-task interference and the cerebral hemispheres. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 315-330.
- Pashler, H.E. (1998). *The Psychology of Attention*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Pashler, H.E., Johnston, J.C. (1998). Attentional limitations in dual-task performance. In: H.E. Pashler (Ed.), *Attention* (S.155-191). Hove: Psychology Press Ltd.
- Pöppel, J., Jürgenmeyer, S., Karlbauer, F., Wenz, C., & Goldenberg, G. (2001) Stability of employment after brain injury: a 7-year follow-up study. *Brain Injury*, 15, 15-27.
- Prigatano, G.P., Klonoff, P., O'Brian, K.P., Altman, I.M., Amin, K., Chiapello, D., Sheperd, J., Cunningham, M., Mora, M. (1994). Productivity after neuropsychologically oriented milieu rehabilitation. *Journal of HeadTrauma Rehabilitation*, 9, 91-102.
- Rabbitt, P. (1997). *Methodology of frontal and executive function*. Hove: Psychology Press.
- Reitan, R.M., Wolfson, D. (1994). A selective and critical review of neuropsychological deficits and the frontal lobes. *Neuropsychology Review*, 4, 161-198.
- Shallice, T., Burgess, P.W., Schon, F., Baxter, D.M. (1989). The origins of utilitarian behaviour. *Brain*, 112 (pt 6), 1587-98.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 298, 199-209.
- Shallice, T., Burgess, P.W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114, 727-741.
- Shallice, T., Burgess, P.W. (1991). Higher-order cognitive impairments and frontal lobe lesions in man. In: H.S. Levin, H.M. Eisenberg, A.L. Benton (Eds.). *Frontal lobe function and dysfunction*, 125-138. New York: Oxford University Press.
- Smith, E.E., Jonides, J. (1999). Storage and executive process in the frontal lobes. *Science*, 283, 1657-1660.
- Stroop, J.R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Sturm, W., Herrmann, M., Wallesch, C.W. (2000). *Lehrbuch der Klinischen*

- Neuropsychologie. Lisse: Swets & Zeitlinger Publishers.
- Testverfahrens zur Erfassung von Funktionsstörungen des Frontalhirns. Med. Dissertation, Universität Heidelberg.
- Tewes, U. (1994). Hamburg-Wechsler-Intelligenz-test für Erwachsene-Revision 1991 (HAWIE-R).
- Tranel, D., Anderson, S.W., Benton, A. (1994). Development of the concept of "executive function" and its relationship to the frontal lobes. In: F. Boller & H. Spinnler (Eds.) Handbook of neuropsychology, 9, 125-148, Amsterdam: Elsevier Science.
- Ungerleider, L.G., Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In: D.J. Ingle, Vorländer, D., Fischer, S. (2000). Berufliche Wiedereingliederung. In: W. Sturm, M. Herrmann, C.W. Wallesch (Eds.). Lehrbuch der klinischen Neuropsychologie, Kap. 3. Lisse: Swets & Zeitlinger Publishers.
- Wickens, C.D. (1984a). Attention, time-sharing and work-load. In: C.D. Wickens (Ed.), Engineering Psychology and Human Performance (S. 291-334). Columbus: Merrill Publishing Company.
- Wickens, C.D. (1984b). Processing resources in attention. In: R. Parasuraman & D.R. Davies (Eds.), Varieties of Attention (S. 63-102). London: Academic Press.
- Wildgruber, D. (1997). Evaluation und Optimierung eines ökonomischen
- Wildgruber, D., Kischka, U., Fassbender, K., Ettlin, T.M. (2000). The frontal lobescore. Part II: Evaluation of its clinical validity. Clinical Rehabilitation, 14, 272-278
- Wilson, B.A., Alderman, N., Burgess P.W., Emslie, H., Evans, J.J. (1996). Behavioural assessment of the dysexecutive syndrome. Bury St Edmunds: Thames Valley Test Company.
- Zimmermann, P., Fimm, B. (1994). Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP). Herzogenrath: Psytest.

Anhang

Pseudowörter phonologisch **Single Task** :

| | |
|--------|--------|
| bil | mek |
| blakel | mew |
| blasit | mim |
| bledug | miv |
| buf | nad |
| bug | nuf |
| dag | pfosig |
| dremus | plakel |
| drisen | ploten |
| driten | priveg |
| drosar | ran |
| dug | rof |
| fab | sad |
| flemos | sep |
| fliben | spakel |
| frosen | spumat |
| gep | sterit |
| glaben | svobig |
| grifus | tak |
| gririt | tin |
| grulit | triken |
| grumat | trivit |
| jos | trokel |
| jug | trolat |
| ket | vad |
| kib | vak |
| klavit | vot |
| knolig | zer |
| krutel | zom |
| lom | |

Pseudowörter phonologisch Dual-Task

| | | |
|--------|--------|--------|
| bid | gur | propen |
| bim | jeg | prufel |
| blafos | juf | prufos |
| bligen | kal | prusar |
| blisen | kef | rag |
| blodel | ket | reb |
| bramil | kir | rid |
| branig | knebil | ron |
| brejen | knesen | spiner |
| brufen | knolus | spisil |
| cos | knopen | spoter |
| del | kov | spurel |
| dol | kridel | staler |
| doz | krijen | stitel |
| dricos | krimit | sul |
| droser | lar | sur |
| drupig | leg | sut |
| fap | len | svepig |
| feg | lit | svesil |
| fek | lof | svulit |
| fem | mef | svumil |
| fen | mif | svuper |
| fil | mol | tas |
| fim | mov | tek |
| fip | mun | ten |
| flakil | nak | tim |
| flaten | nar | tragun |
| flekel | nob | trebil |
| flirus | nop | trefit |
| flopar | pfamer | tremug |
| flurig | pfarel | tuf |
| ger | pfinig | vof |
| gleder | pir | wap |
| glimig | pleter | zik |
| gon | plewus | |
| grogit | pliten | |
| gronig | plusel | |

Chinesische Zeichen figural Single Task

| | | |
|---|---|---|
| 鼠 | 天 | 智 |
| 壽 | 羊 | 跑 |
| 白 | 女 | 耐 |
| 唱 | 子 | 三 |
| 品 | 慧 | 車 |
| 日 | 游 | 痛 |

死神立功水月
生金巨丹謎祕
雙學弋希火力

平往嚮望牛心
自人目木夫公
永諾騎尊忠魚

知勇兔
泳忘睡

Chinesische Zeichen figural Dual Task

學光兒美舌歌
智狼和黑猴好
雨弋我趣庄宇

祝 音 星 亅 朱 勇
庄 忠 毒 風 福 樂
句 海 身 男 彳 𠂇

| | | |
|---|---|---|
| 宜 | 蜥 | 𠂇 |
| 負 | 蛇 | 艮 |
| 誼 | 松 | 立 |
| 曷 | 地 | 負 |
| 沔 | 洞 | 欠 |
| 蝦 | 獨 | 矢 |

| | | |
|---|---|---|
| 字 | 它 | 誼 |
| 爭 | 奇 | 貞 |
| 氣 | 龍 | 句 |
| 趣 | 媽 | 包 |
| 貓 | 衣 | 牛 |
| 夢 | 虫 | 船 |

控健爭雉家寸
烏羚靈令必康
道德愛寶皮苗

虎花呆同彳
裒薳爱拉衤言
主宜才羊空才

Hiermit versichere ich, die vorliegende Dissertation selbstständig erarbeitet zu haben und keine anderen Hilfsmittel als die in der Dissertation angegebenen benutzt zu haben.

Diese Arbeit hat in der gegenwärtigen Fassung oder in einer anderen Fassung an keiner anderen Fakultät vorgelegen.

München, 10. September 2007

Michela Fiaschi-Schneider